

# 해중철도의 현황과 동북아협력

2022. 4.

차세대철도차량본부 서 승 일

# 발표 내용

1 해중철도 개요

2 국내 시장

3 해외기술 개발 동향

4 국내 기술 개발 동향

5 최근 연구 성과

# 해중철도 개요

# 해중철도의 필요성

## 육상 교통수단에 의한 대륙 연결 수요

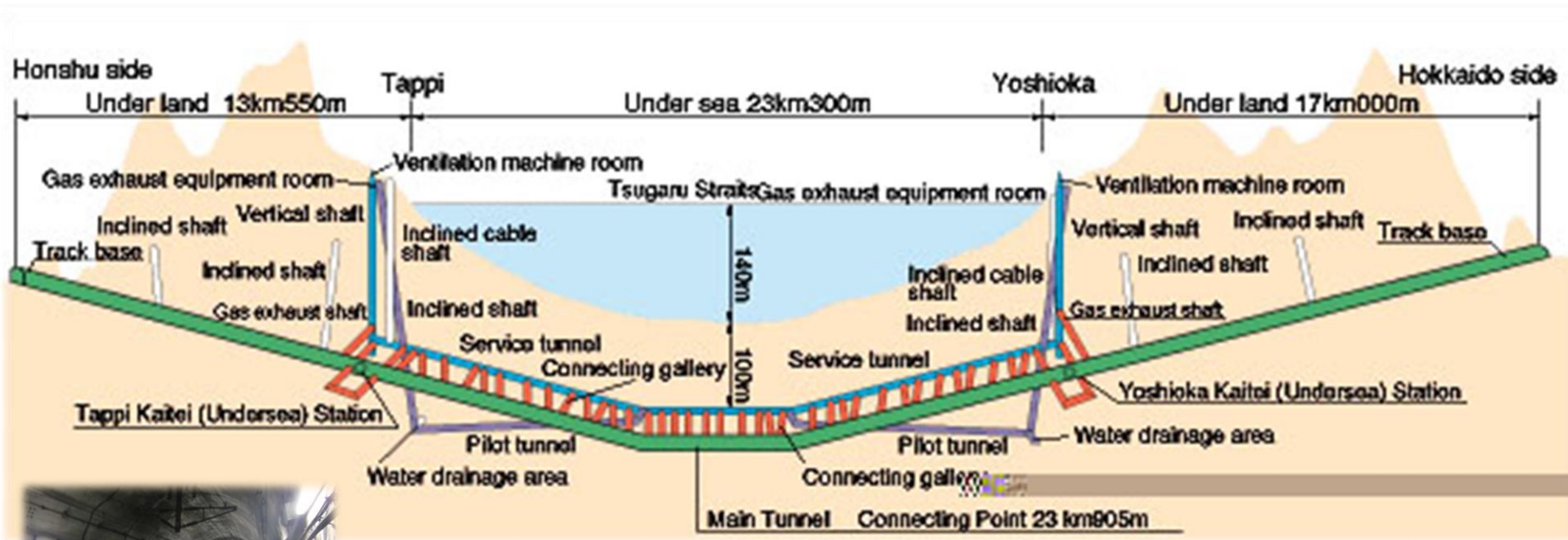
- 유럽 통합의 상징 영불 해저터널
- 동북아 광역경제권 활성화를 위한 한·중·일 철도 운행 수요





# 일본 세이칸 해저터널

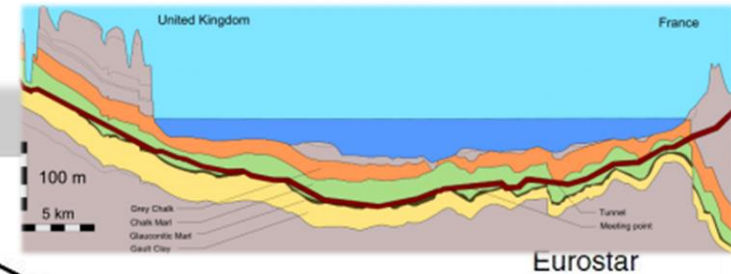
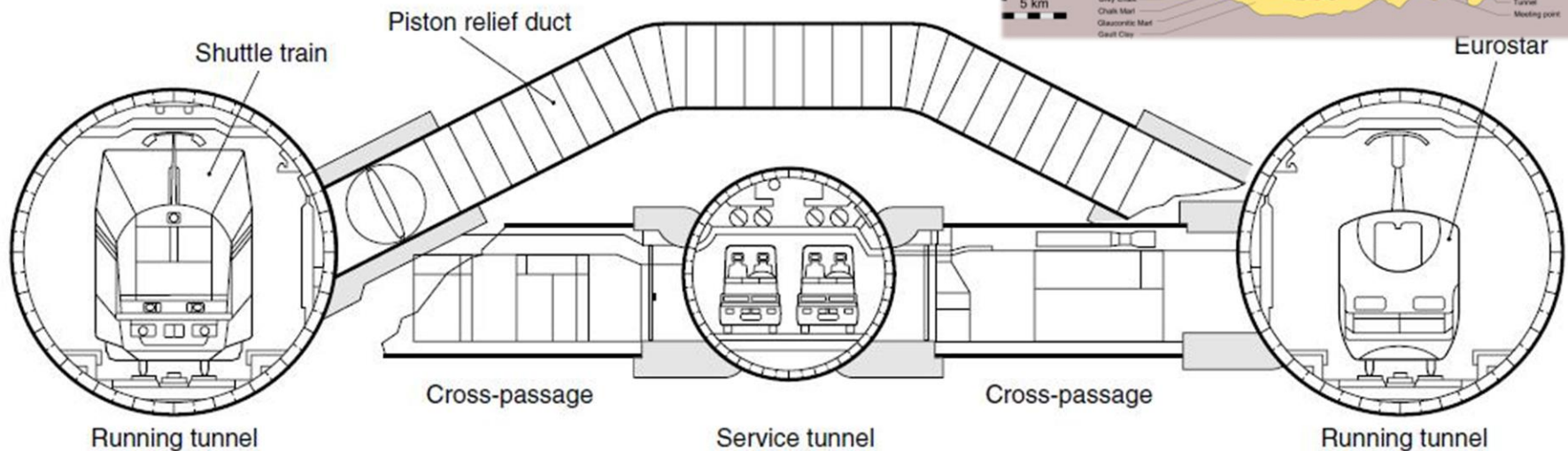
- 본토 아오모리현과 북해도 연결(총 53.9km, 해저 구간 23.3km)
- 공사기간 1964년 ~ 1988년(25년), 공사비 10조원
- 바다 밑 100m 통과 신간선 운행



# 영불 해저 터널

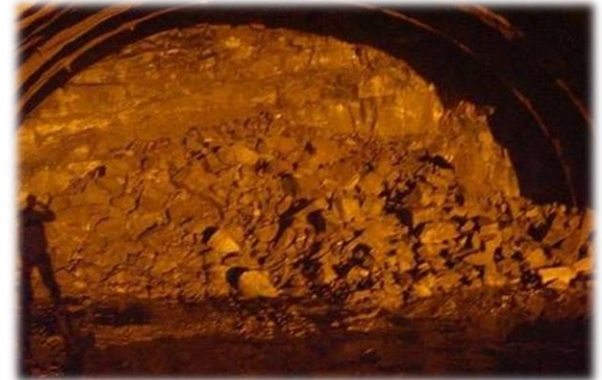
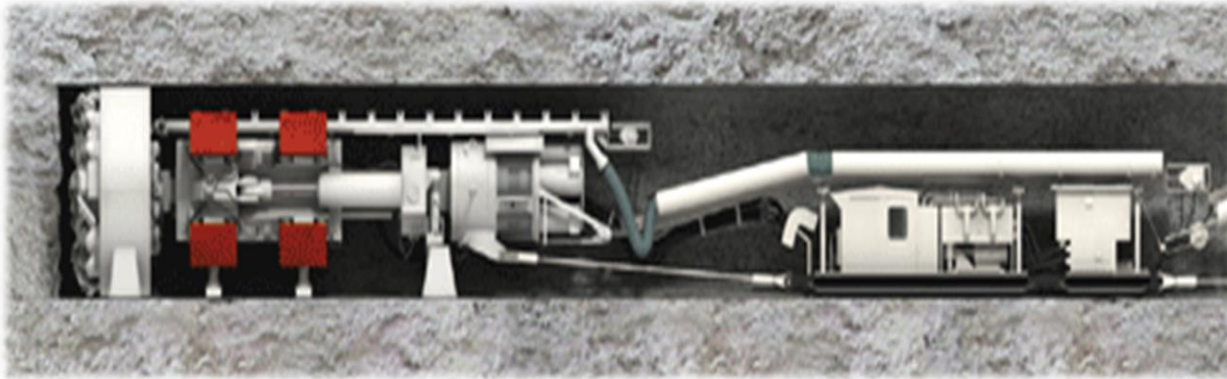
- 영국 Folkestone와 프랑스 Calais 연결(50.45km, 해저구간 38km)
- 바다 밑 25~75m 깊이에 건설, 평균 깊이 45m
- 공사기간 1986년~1994년(8년), 공사비 약16조원

Cross Section of Channel Tunnel Structure



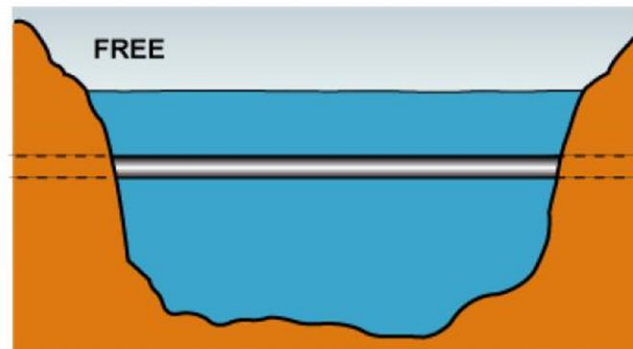
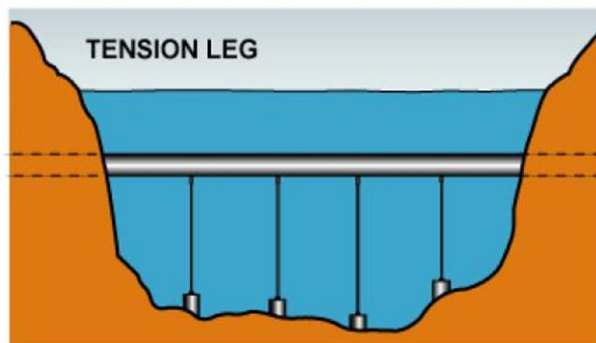
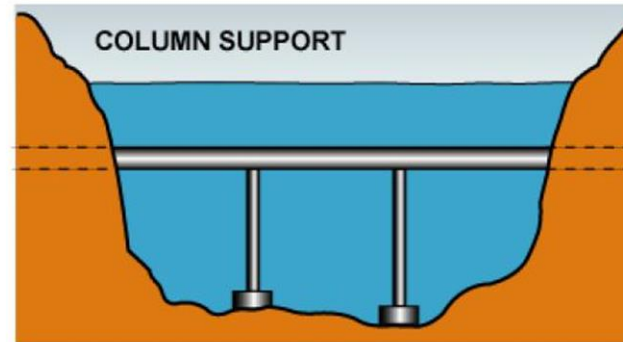
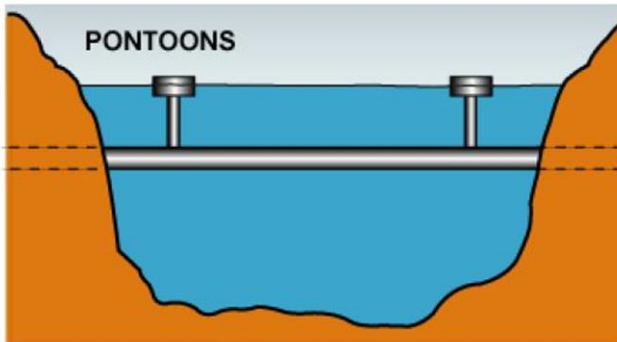
# 해저터널 건설의 문제

- 오랜 공사기간 소요(TBM 공법 적용시에도 1km 터널 공사에 1.5개월 소요)
- 장거리 공사의 버력 처리
- 연약지반의 붕괴 및 누수 위험



# 해중철도의 개념

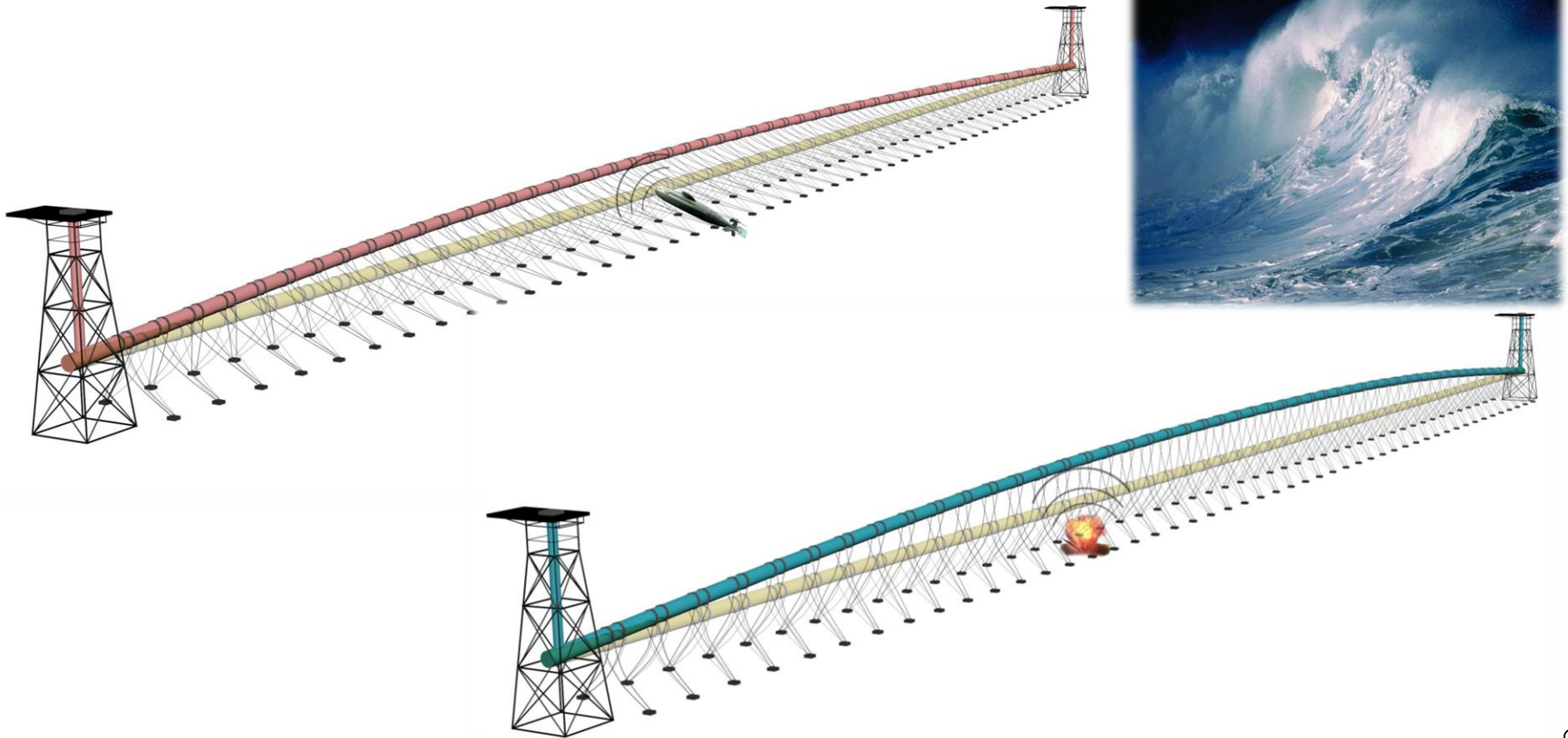
- 부력에 의해 지지되는 해중터널을 열차가 통과하는 철도시스템
- 수심이 깊고 장거리일수록 Tension Leg형이 일반적임
  - 잉여 부력은 Leg의 장력에 의해 균형을 이룸
  - 해수면의 파도나 바람의 영향이 급격히 감소
  - 육상 제작후 해상에서 연결하므로 건설비용 및 기간 감소





# 해중철도의 지연 사유

- 사용 실적의 미비
- 비상 상황에 대한 안전성 검증 미비
- 물속을 운행하는 열차에 대한 일반인의 불안감

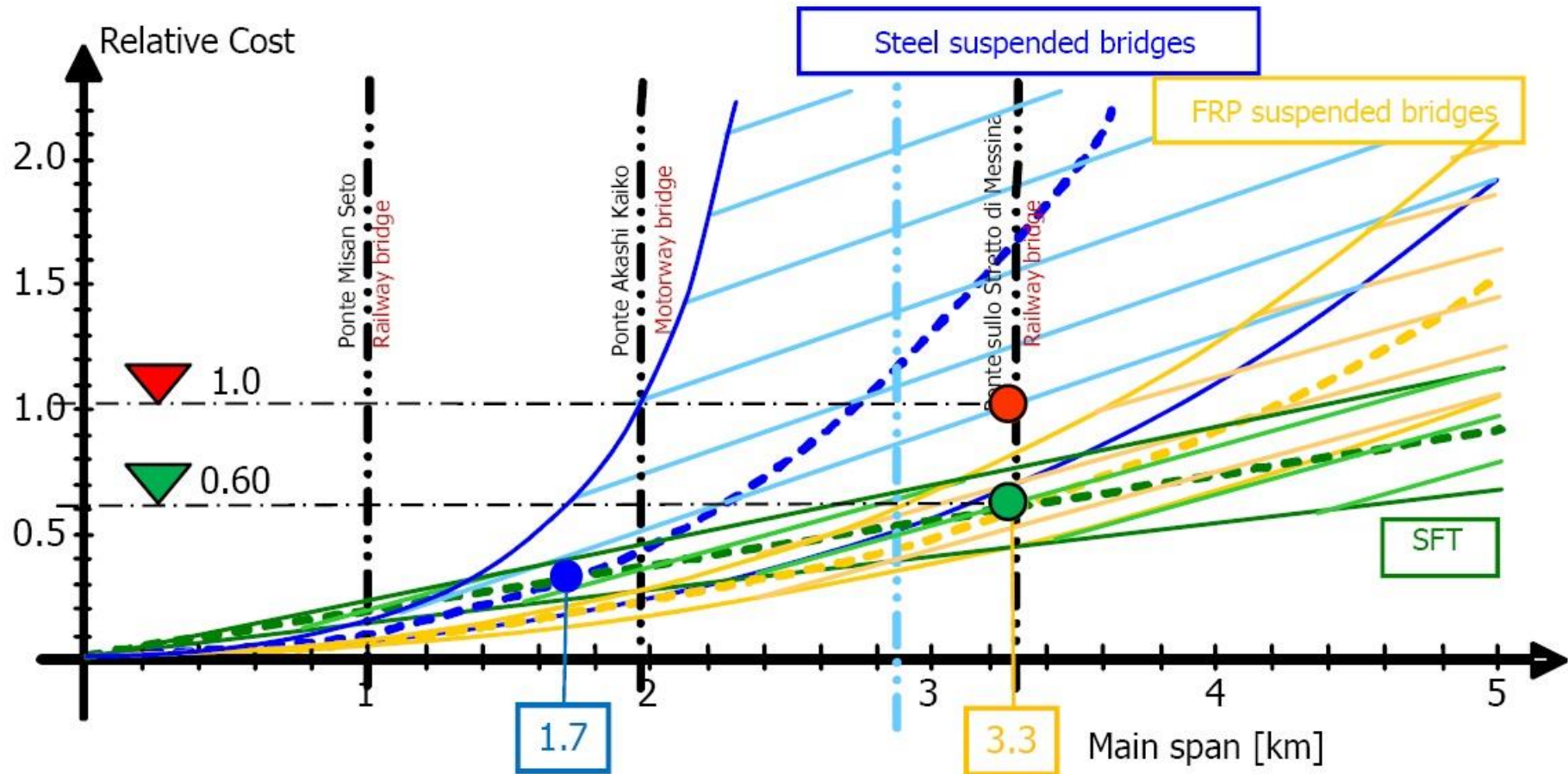


# 해저터널과 해중터널 비교

항목	해저터널		해중터널	
	도로	철도	도로	철도
길이	10km 이내	10km 이상	10km 이내	10km 이상
건설비	3,000억원/km	3,100억원/km 이상	790억원/km	890억원/km
수심	150m 이내		제한 없음	
내진	단층지역 취약		내진성능 우수	
주요 설비	-터널내 상부 환기 팬 -누수 배수시설 -대피 통로	-대피 통로 -누수 배수시설	-터널내 상부 환기 팬 -대피 통로	-대피 통로
내부 환경	-매연 발생에 의한 혼탁	-전기에너지 사용에 의한 청정 상태	-매연 발생에 의한 혼탁	-전기에너지 사용에 의한 청정 상태
주행 안전성	-운전자 오류에 의한 충돌 및 화재 사고 가능	-안정적	-운전자 오류에 의한 충돌 및 화재 사고 가능 -좌우 동요에 의한 차량 전복 및 충돌 가능	-가드레일에 의한 탈선 방지 가능

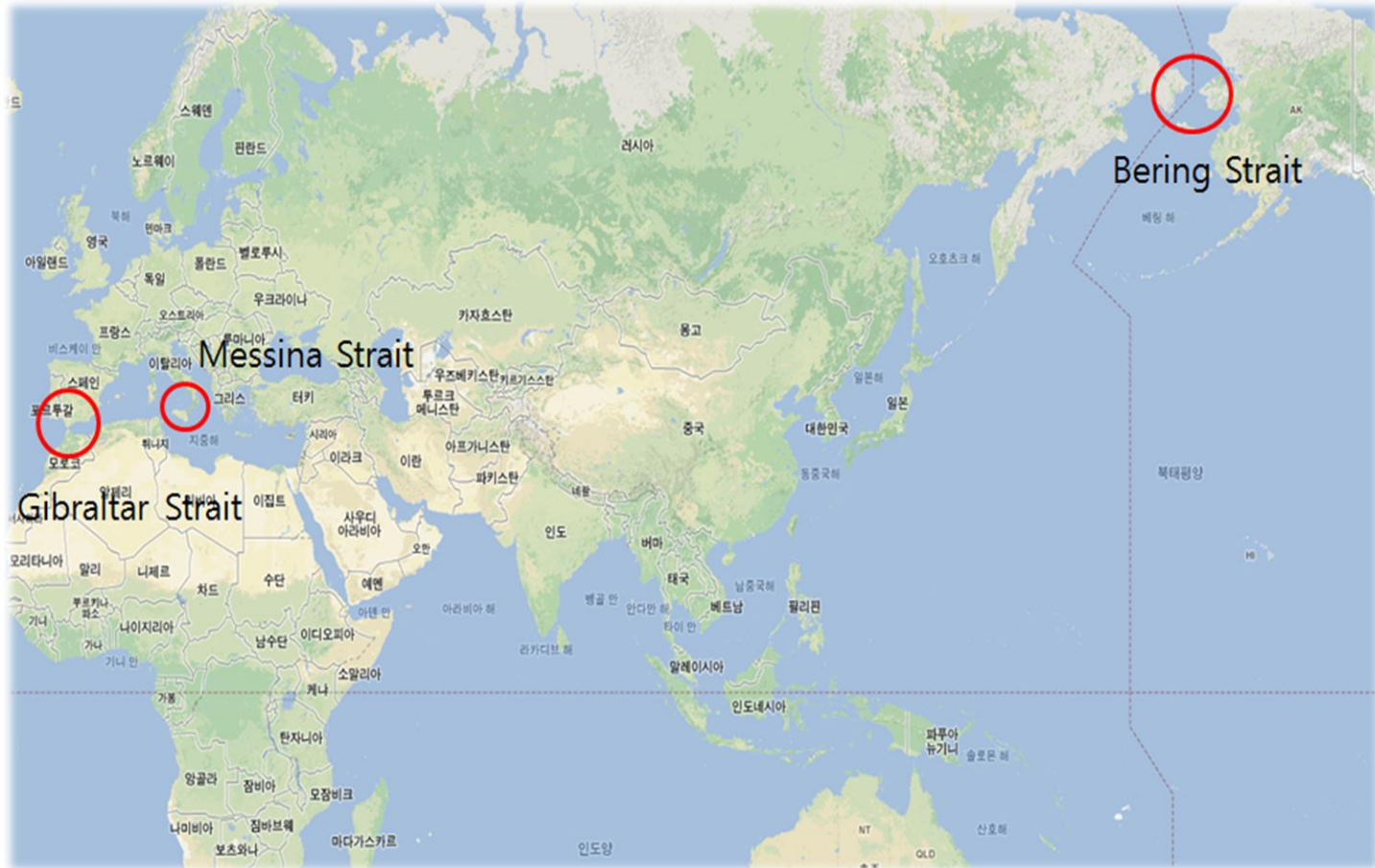
# 해중터널 Life Cycle Cost

## ● Suspended Bridge와 Submerged Floating Tunnel 비교



# 해외 대륙 연결 프로젝트

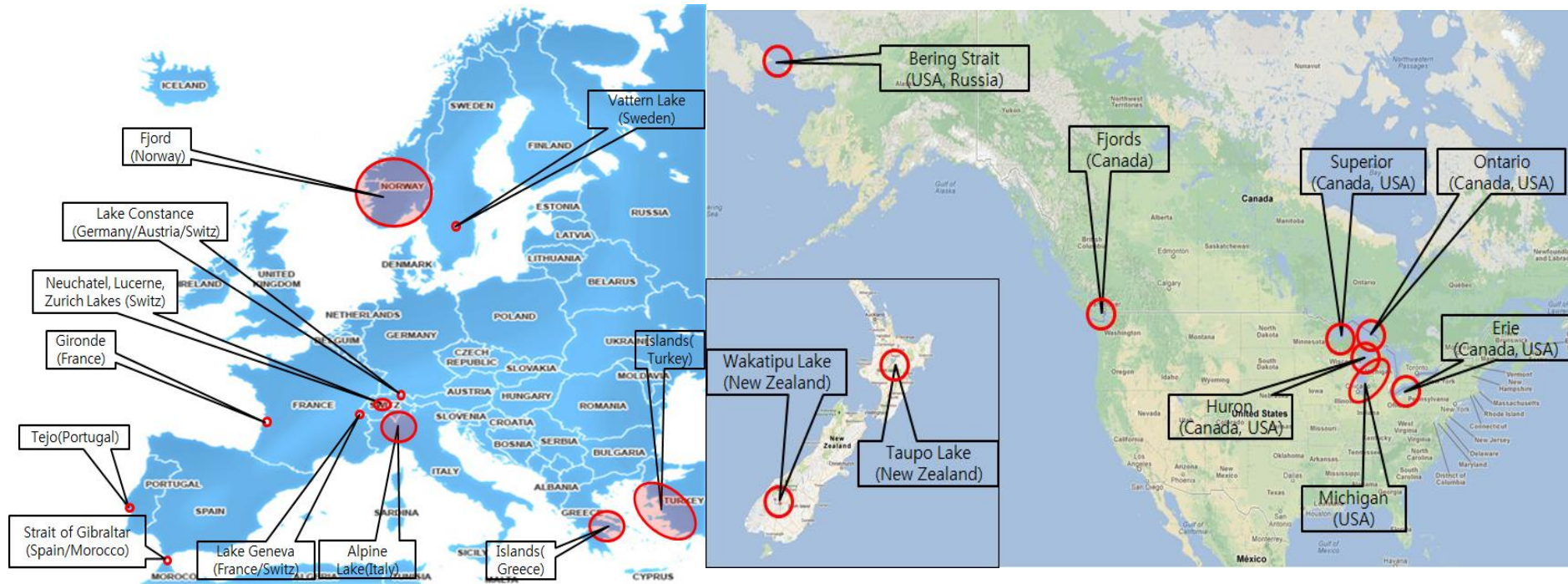
- 아시아와 북미 연결 베링해협 횡단
- 유럽 이베리아 반도와 아프리카 연결 지브롤터해협 횡단
- 이태리의 메시나 해협 횡단





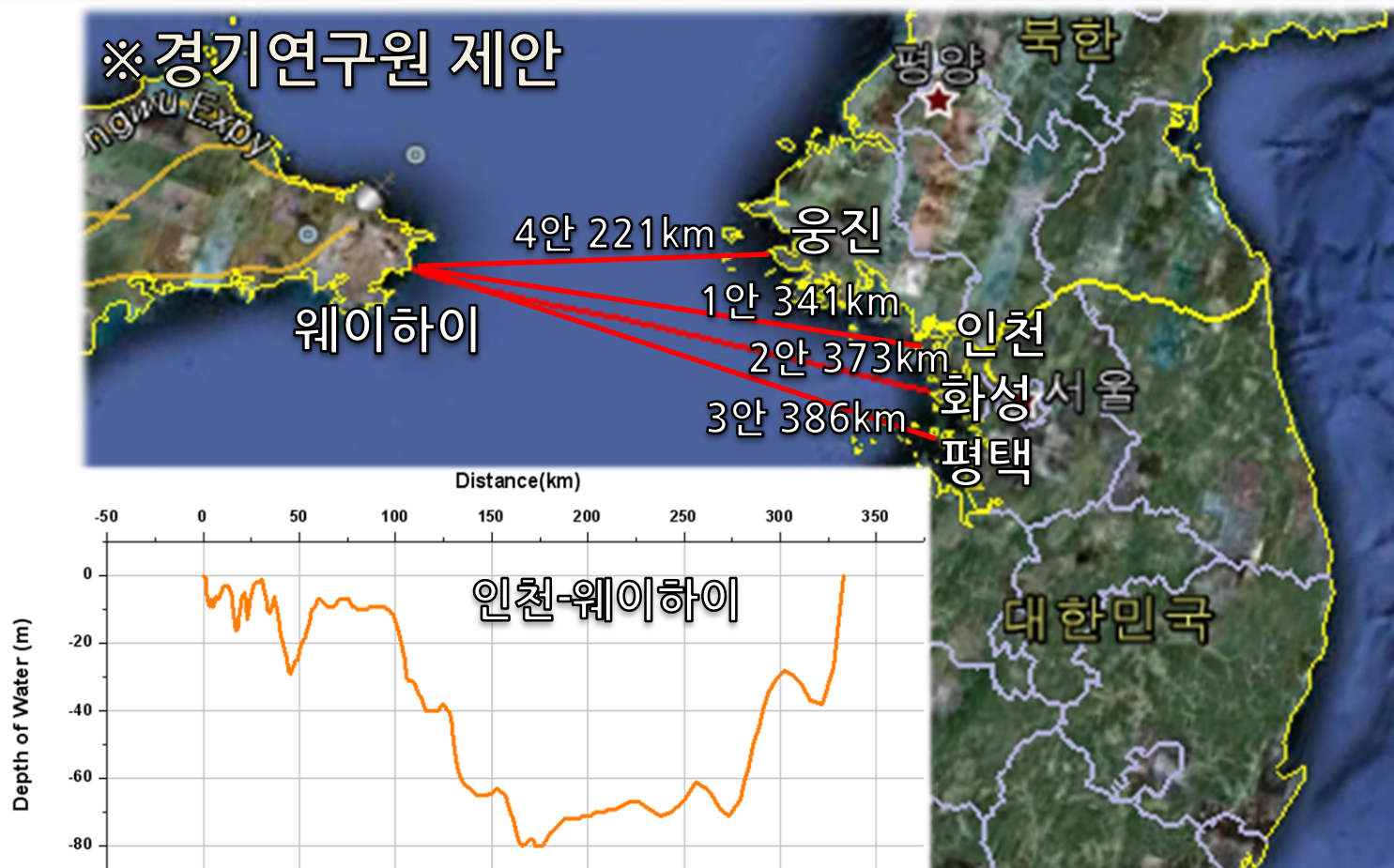
# 해외 해중터널 건설 가능지역

- 국제터널협회에서 예상한 유럽과 북미 뉴질랜드 해중터널 가능 지역



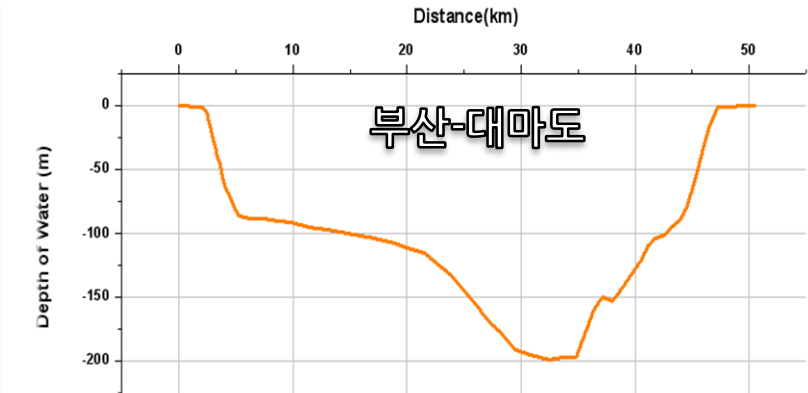
# 국내 시장

# 한중 노선





# 한일 노선

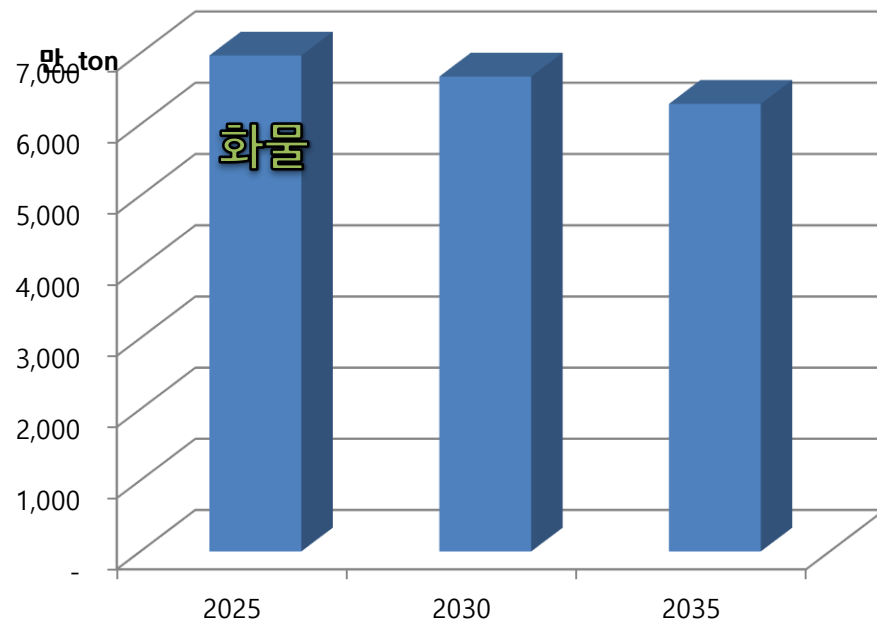
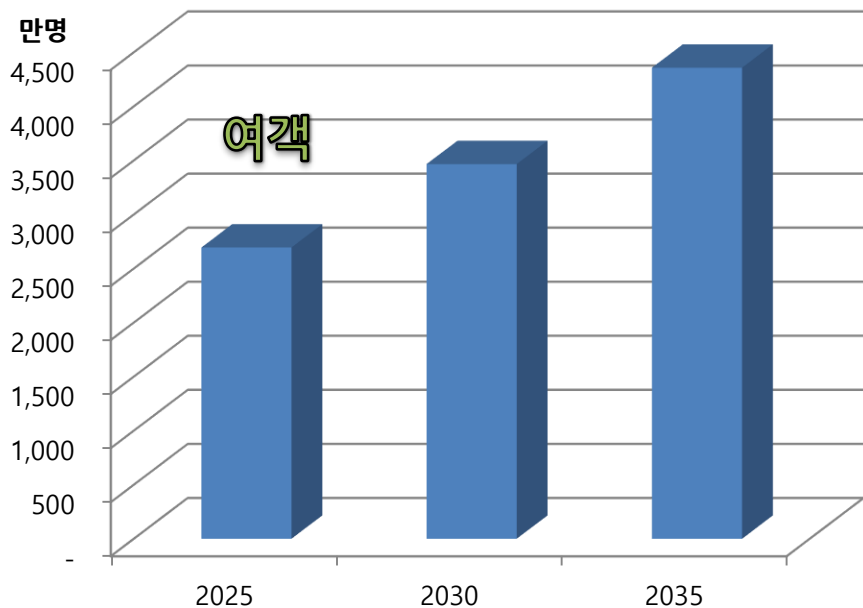




# 한중 해중철도 수요

## ● 장래 수요 예측

- 여객 수요 예측 : 2,694만명(2025년) → 4,357만명(2035년) 으로 증가
- 화물 수요 예측 : 6,966만ton (2025년) → 6,288만ton (2035년) 으로 감소



# 해중고속철도 건설비 비교

- **한중(인천-웨이하이) 구간**
  - 총연장 341km
  - 여객 통행량 4,357만명(2035년) , 화물 수요 6,288만ton (2035년)
- **한일(부산-후쿠오카) 구간**
  - 총연장 223km (지상 76km, 해중 147km)
  - 여객 통행량 1,875만 명 (2030년), 화물 수요 1,361천 TEU (2030년)

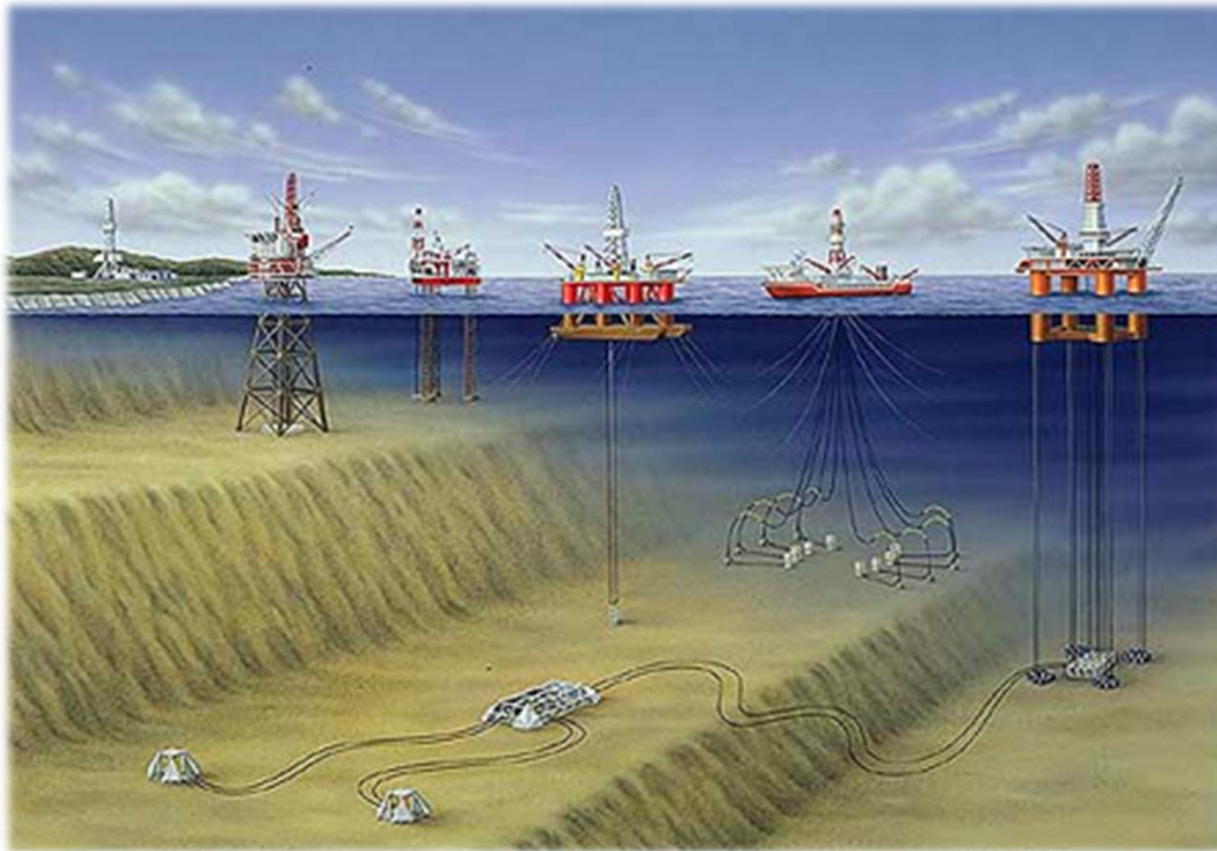
노 선	길 이(km)	해저터널※	기간	해중철도	기간
부산-후쿠오카	215	92조원 (4,279억원/km)	15년	16조5천억원	7년
인천-웨이하이	341	123조원 (3,600억원/km)	16년	30조2천억원	5년

※ 한국교통연구원 2009년 교통 3월호

# 해외 기술개발 동향

# 해양플랜트 기술

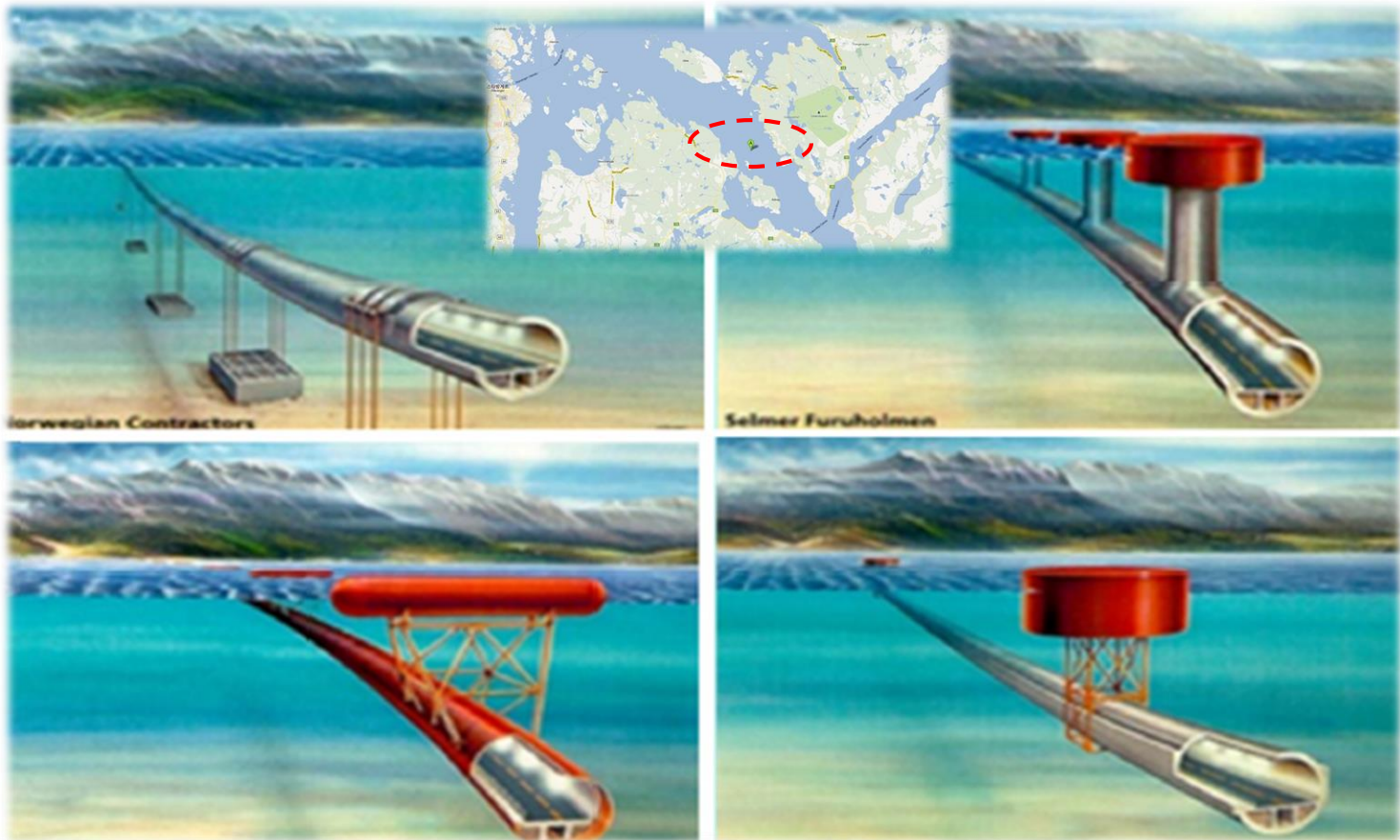
- 해저 파이프라인 기술 적용
- Tension Leg Platform 기술 적용
- 심해 원유 생산 시설(FPSO, Semi-submersible) 등)





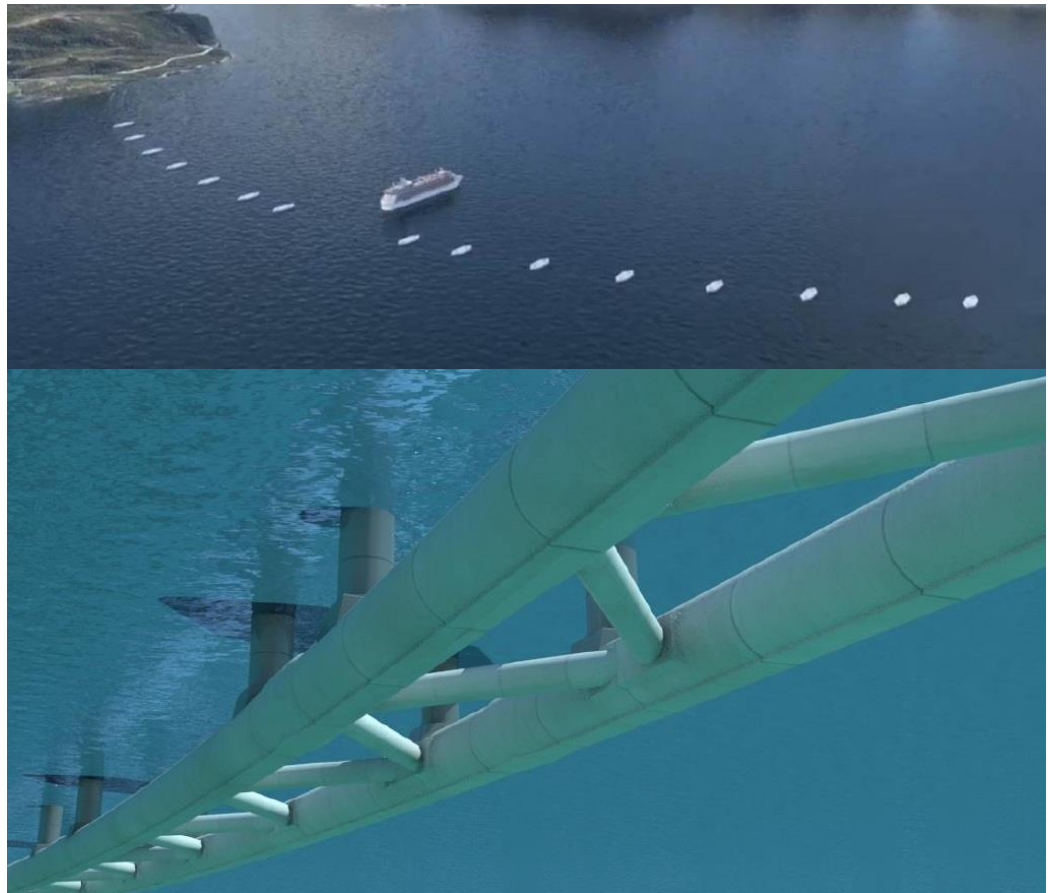
# 노르웨이 Hogs Fjord

- 1987년 노르웨이 공공도로국 개념설계 제안
- 해협의 폭 2km, 깊이는 150~250m
- 강재와 콘크리트 합성 구조



# 노르웨이 Sogne Fjord

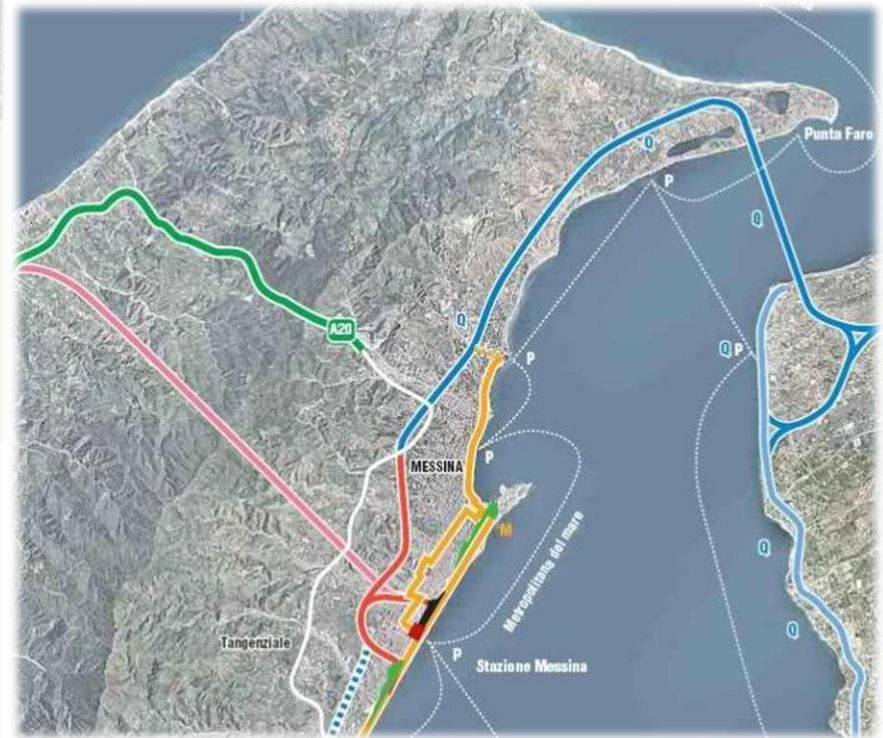
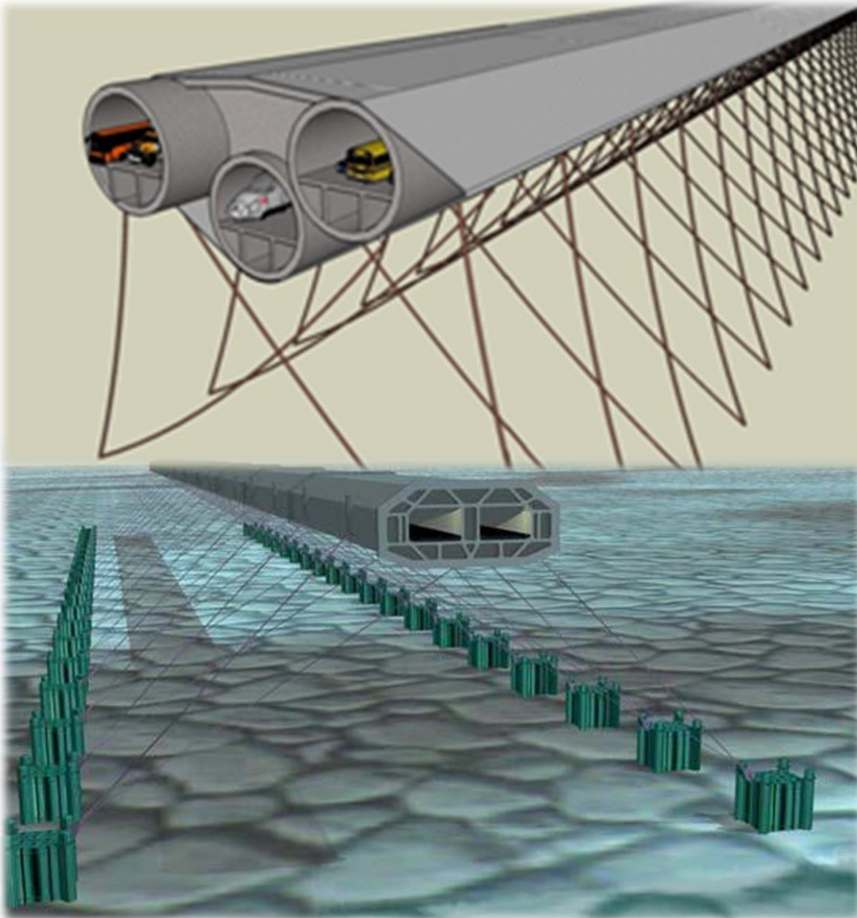
- Kristiansand-Trondheim 연결 1,100km E39 고속도로
- 해협의 폭 4km, 깊이는 최고 1,300m
- 폰툰형 해중터널 제안





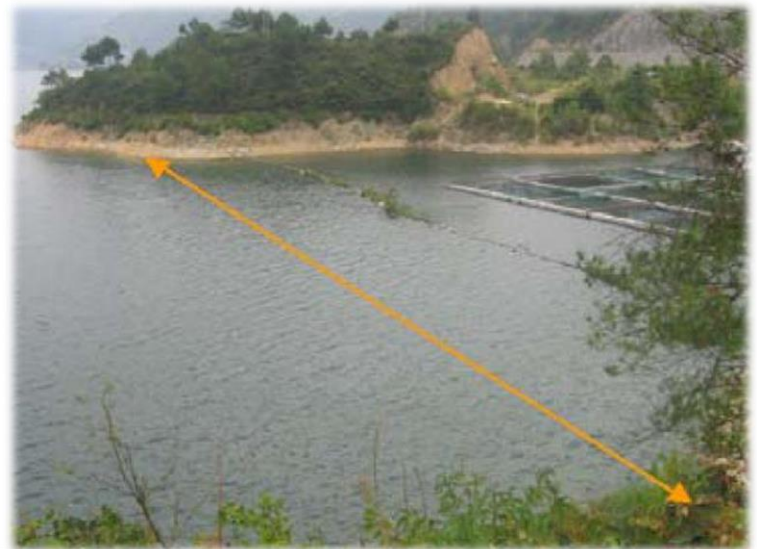
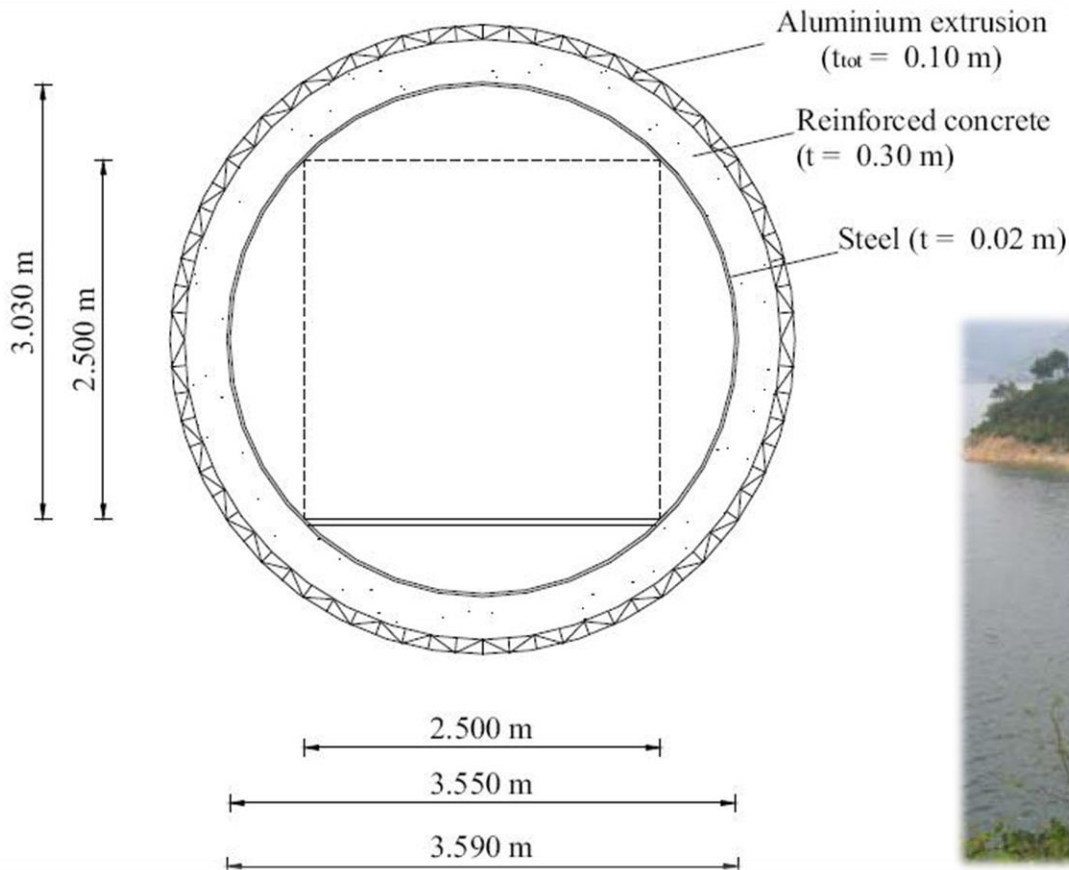
# 이태리 Messina Strait Crossing

- 1969년 Alan Grant, 1984년 Ponti di Archimede S.pA.사 제안
- 250m의 수심 해협 3km구간



# 중국 Qiandao호

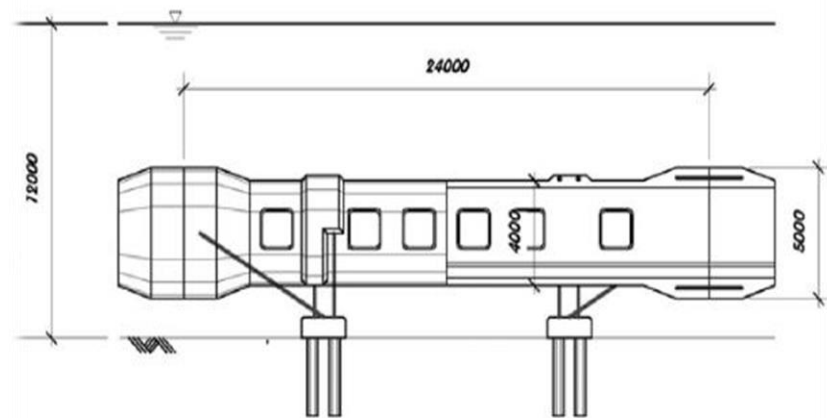
- 최고 수심 35m 호수의 수면하 2m에 길이 100m 터널
- 수직과 경사 인장 케이블 적용
- 알루미늄 압출재/콘크리트/강판 의 합성 단면





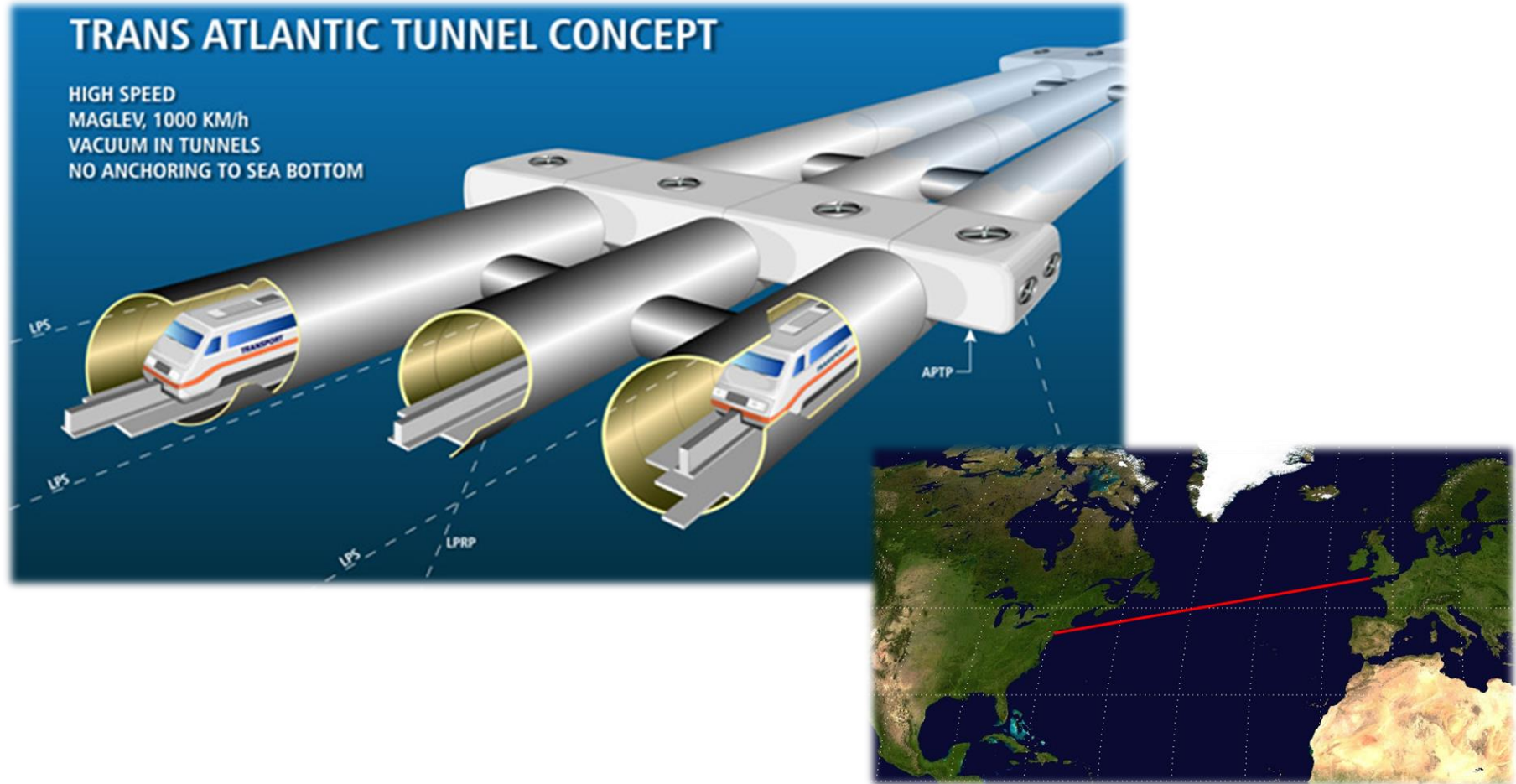
# 일본 해중터널 연구

- Funka Bay Crossing (30km, 깊이 120m)
- Daikokujima (길이 120m, 깊이 12m)



# 대서양 횡단 터널

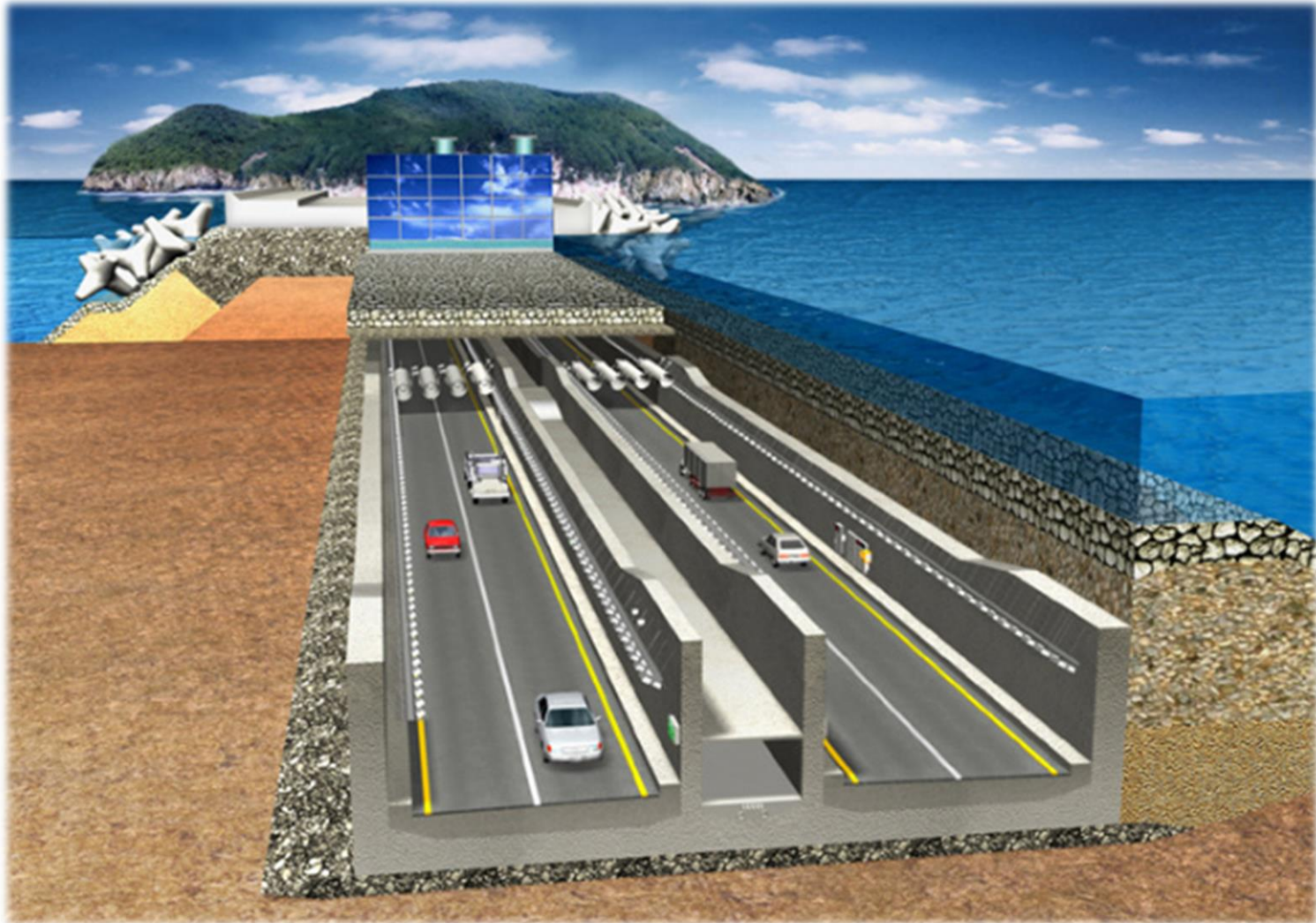
- 대서양 횡단 부유식 터널을 통한 고속열차 운행



# 국내 기술개발 동향

# 침매 터널

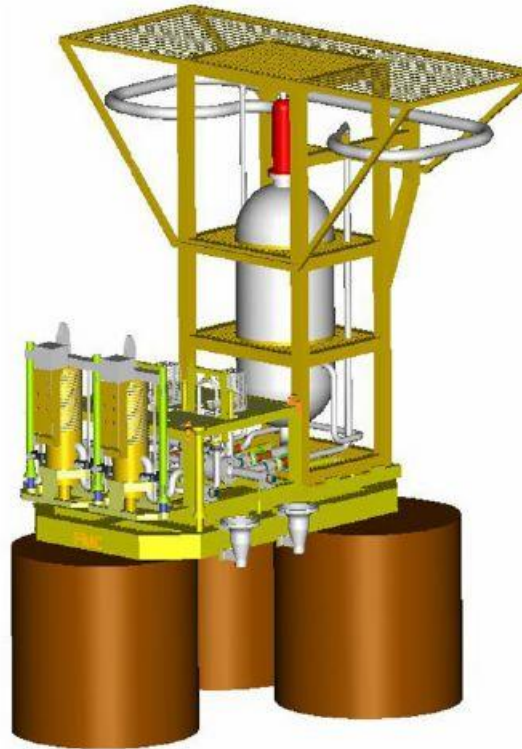
- 가덕도-거제 구간(3.7km) 4차선 도로





# 앵커 시공 기술

- 파일 항타
- 석션 앵커



# 해중철도 국제세미나 개최

## ● 국내외 관련 전문가 세미나 발표 및 토론(2012. 3. 28.)



일시 : 2012년 3월 28일(수) 13:30~17:20  
장소 : 한국화재보험협회(여의도 소재)

미래녹색교통기술을 이끄는  
KRI 한국철도기술연구원  
Korea Railroad Research Institute

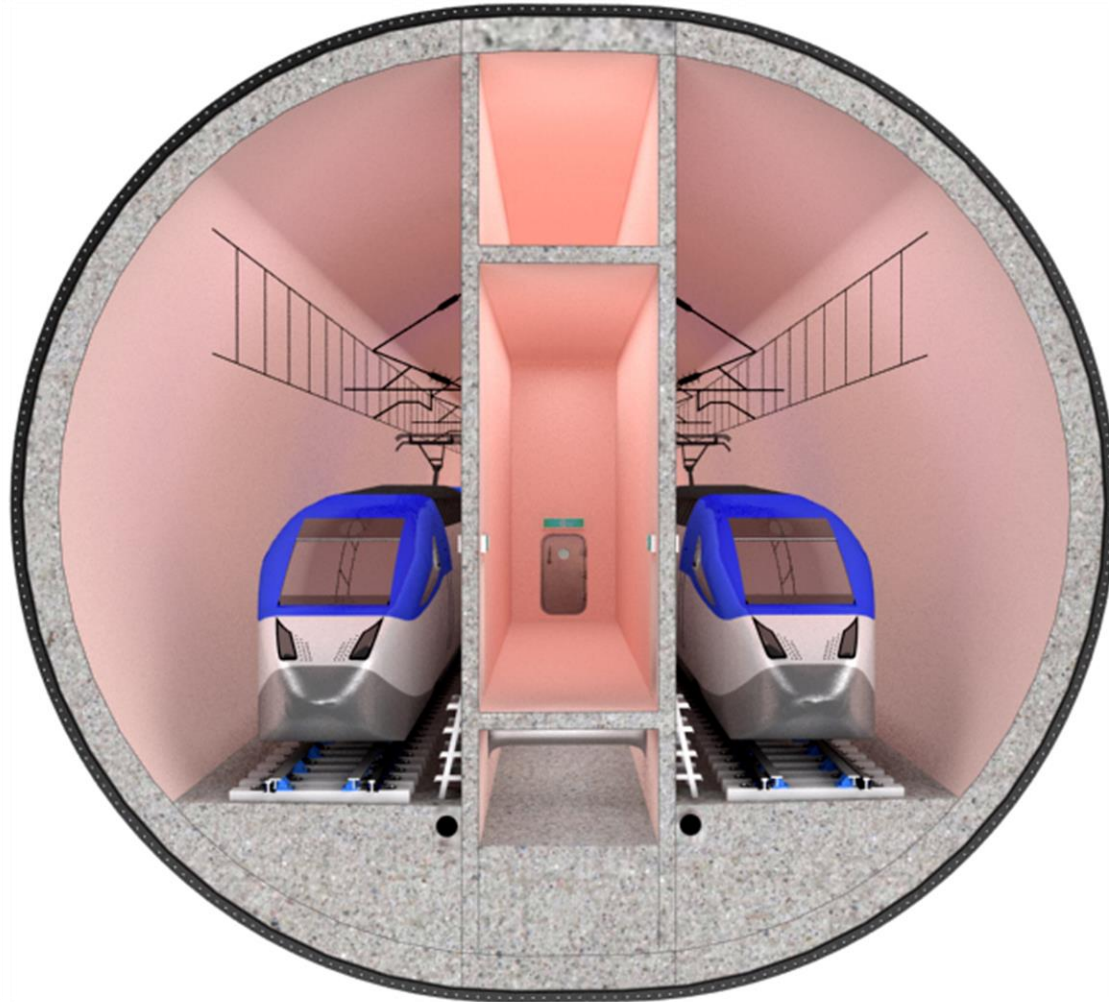
### 프로그램

- **축사**
  - ITA 국제터널협회장 이인모 교수(고려대)
- **주제 발표**
  - 대륙 연결을 위한 해중철도의 개념 및 설계안(철도연 서승일 박사)
  - 침매터널 기술 현황 및 시공 사례(대우건설 조봉현 부장)
  - Recent technologies for submerged floating railway and future prospect (Prof. Federico M. Mazzolani, University of Naples "Federico II")
  - Case study on Qiandao submerged floating tunnel(Prof. Youshi HONG, Chinese Academy of Sciences)
- **토론**
  - 사회 : 김동진 이사장(철도문화재단)
  - 토론 : 신종호 교수(전국대), 박우선 박사(해양연),  
곽종원 박사(건설연), 박래영 상무(포스코엔지니어링),  
조웅래 박사(경기개발연)
- **일정**

시간	내용
13:30~14:00	등록
14:00~14:20	개회사 및 축사
14:20~16:20	주제발표
16:20~16:30	Coffee Break
16:30~17:20	토론

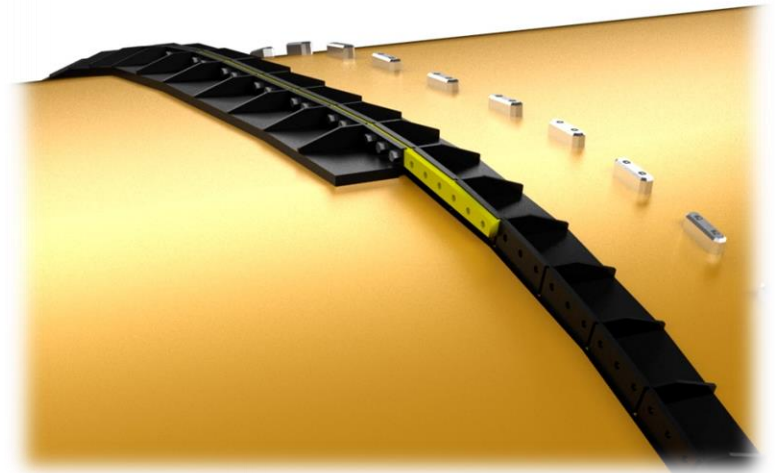
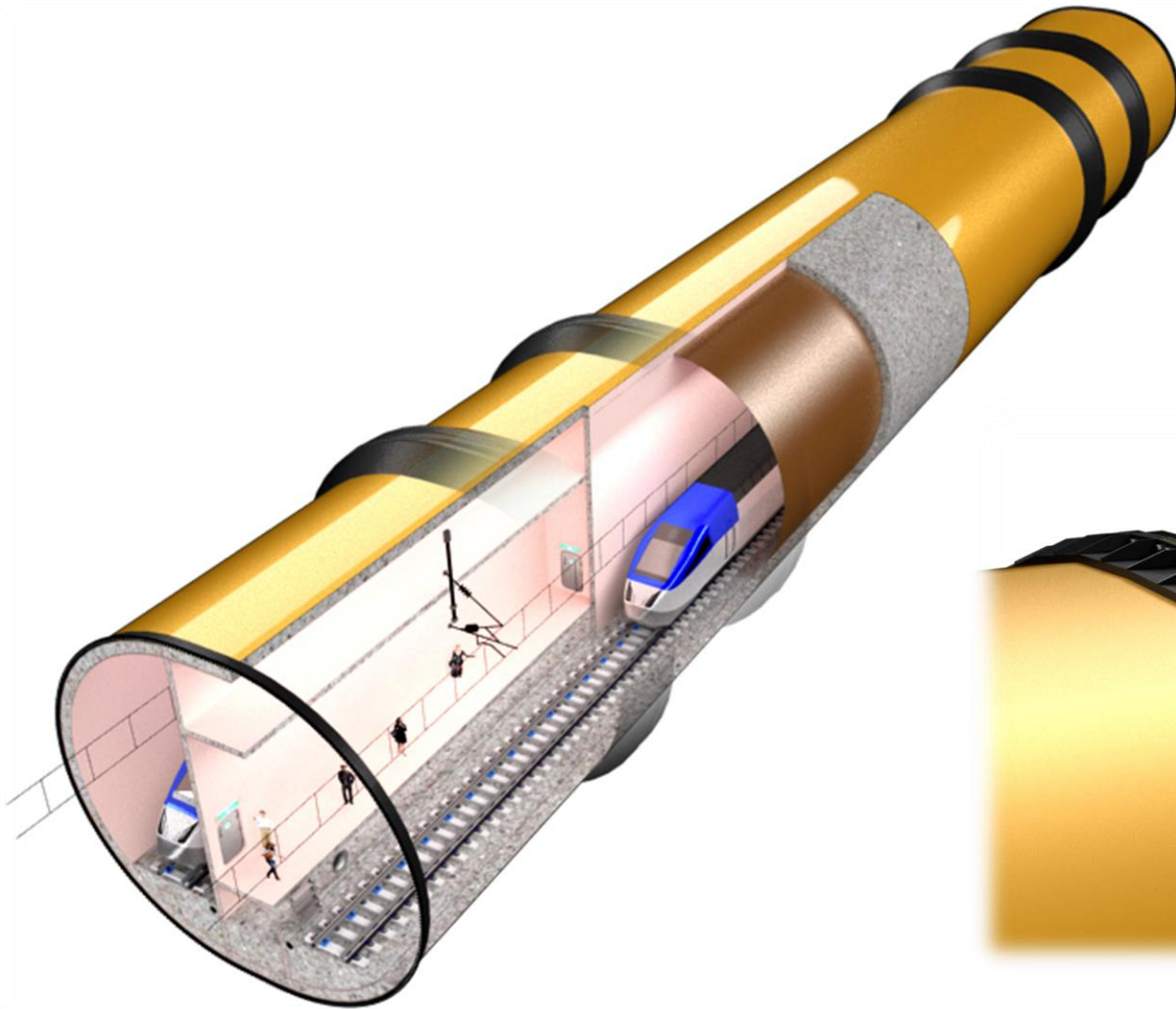
# 파이프라인형 해중고속철도 단면 설계

- 강도 증가, 침수시 부력 유지, 생존공간 확보를 위해 구획 분리



# 파이프라인 모듈 설계

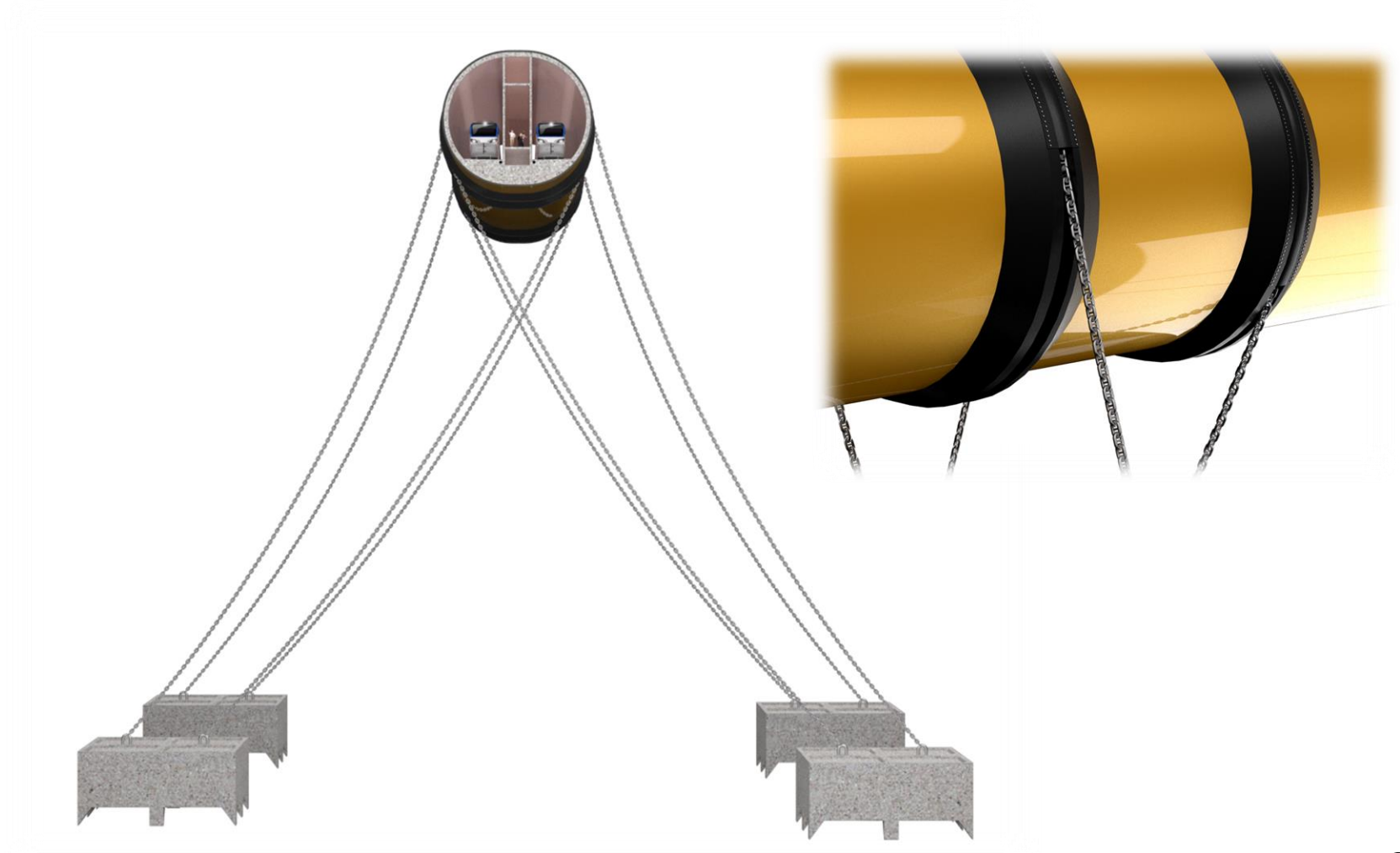
- 이중강판 및 콘크리트 합성구조 모듈을 볼트 및 용접으로 연결





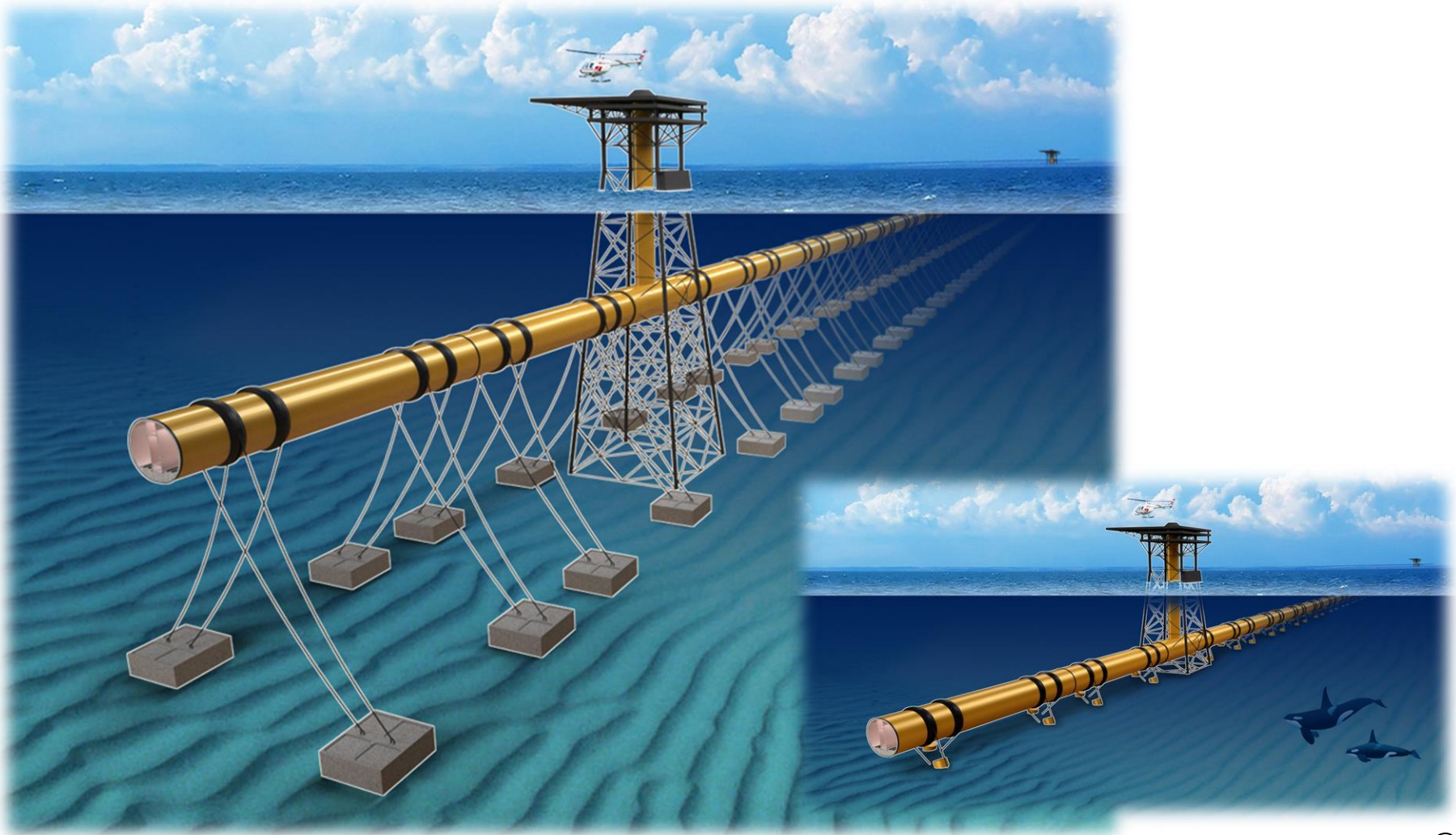
# 계류장치 설계

- 초과 부력으로 상승하려는 파이프라인을 계류 체인으로 고정시킴



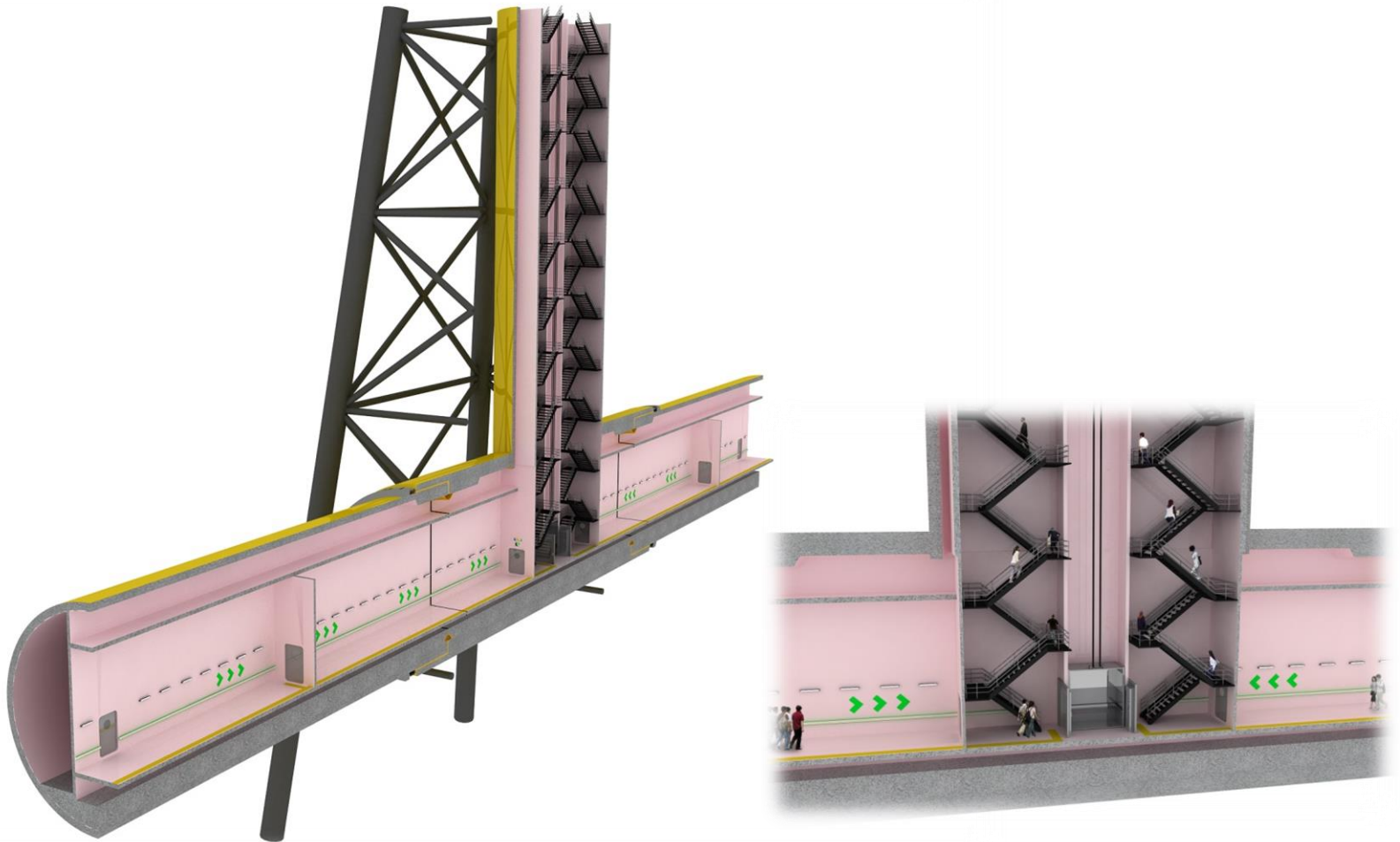
# 중간 고정식 구조물 설계

- 승객 대피 및 환기를 위한 일정 간격의 고정식 구조물 설치



# 승객 대피를 위한 통로 설계

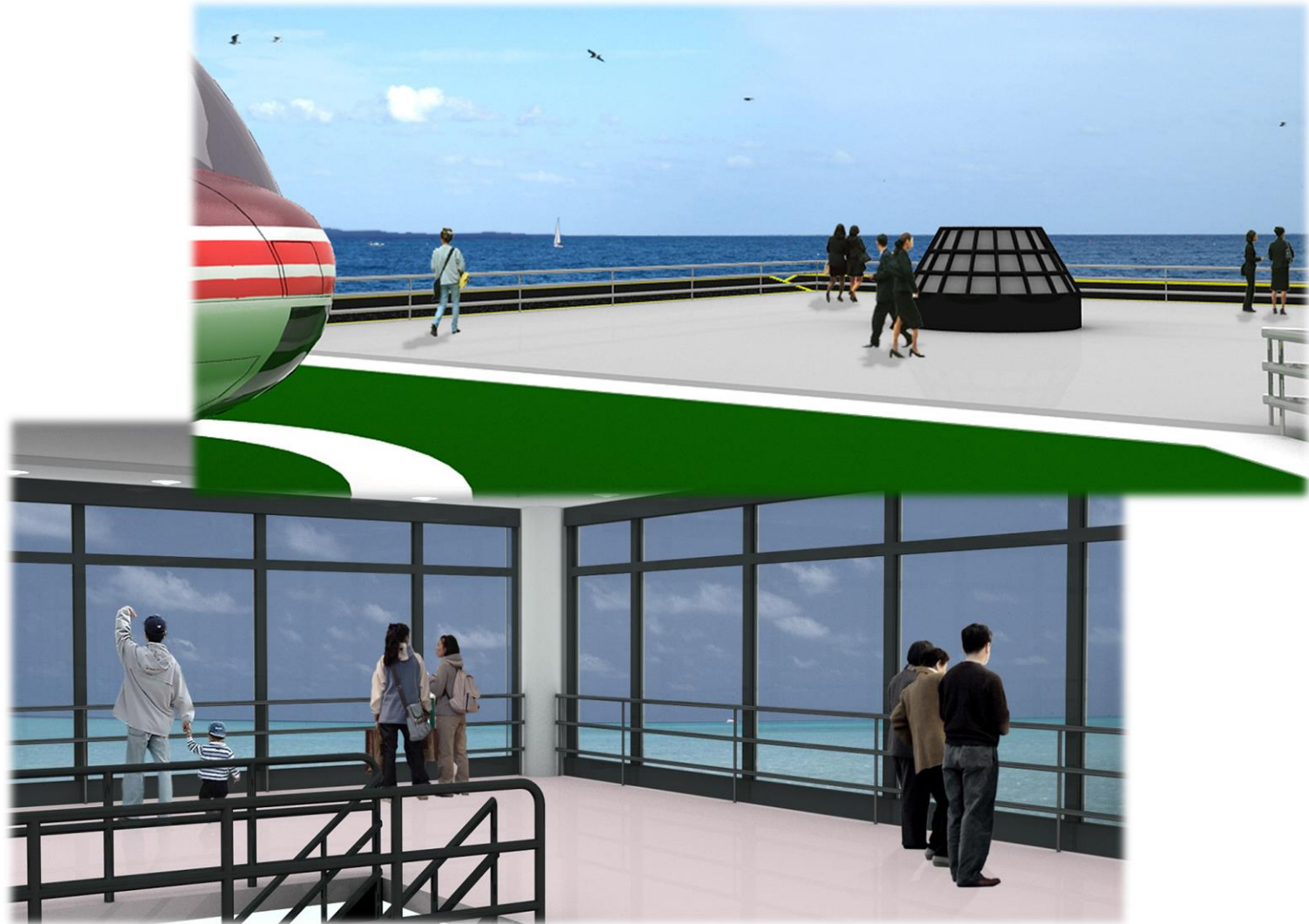
- 비상시 수면위 상생을 위한 계단 및 엘리베이터 설치





# 승객 대피 인공섬 설계

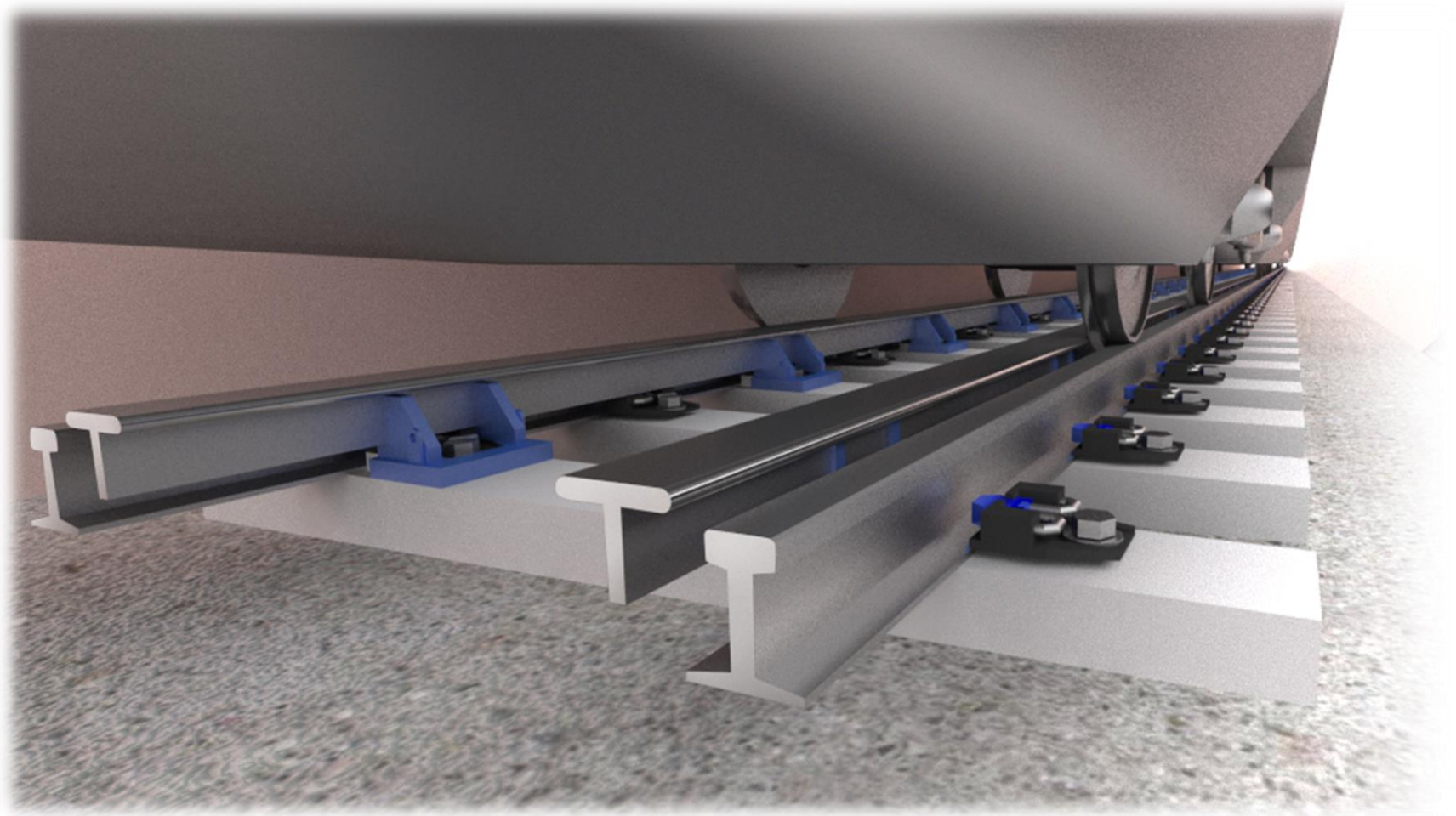
- 고정식 구조물 상부의 대피처, 휴식공간 및 환기구





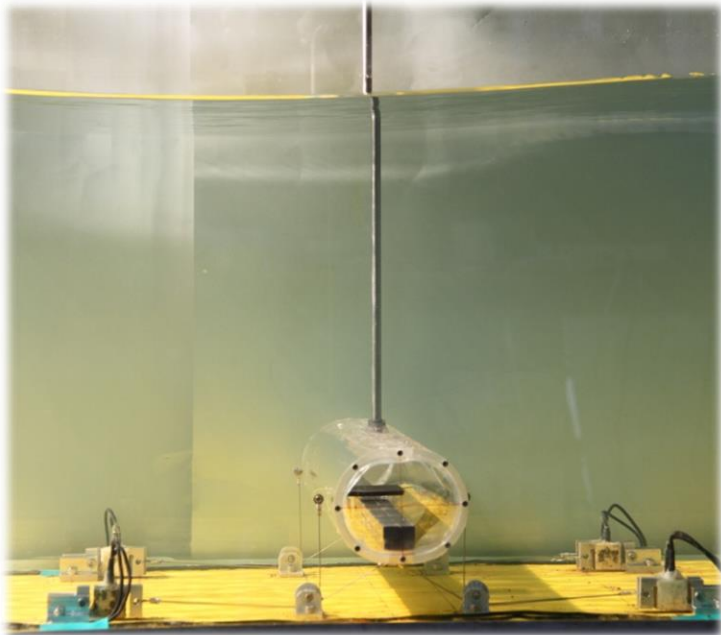
# 횡동요시 탈선 방지를 위한 가드레일 설계

- 파도, 지진, 충돌 등에 의한 과도한 횡동요시 차륜 탈선 방지

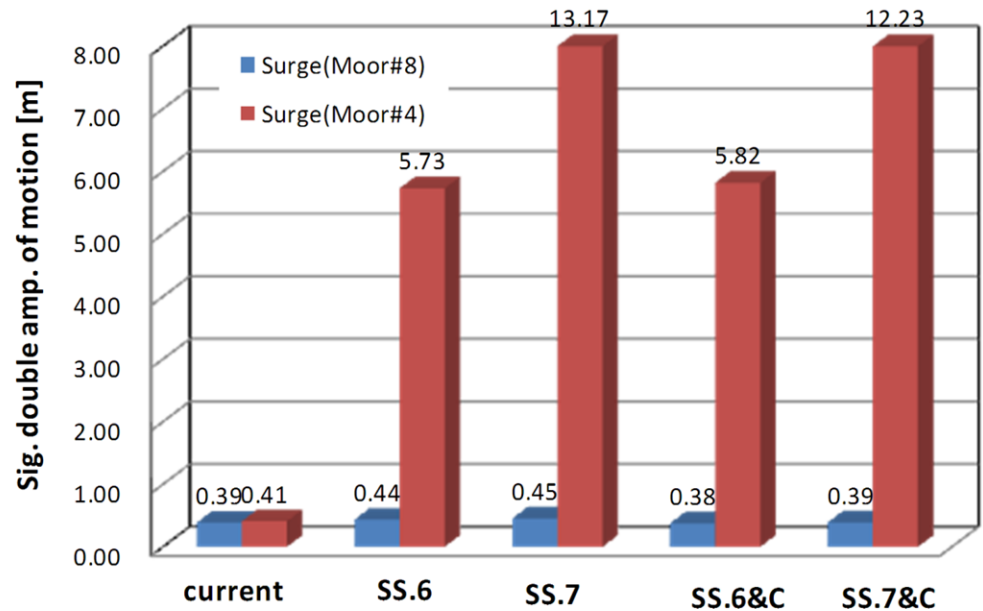


# 모형시험

- 축소 모형에 대해 2차원 수조시험 실시

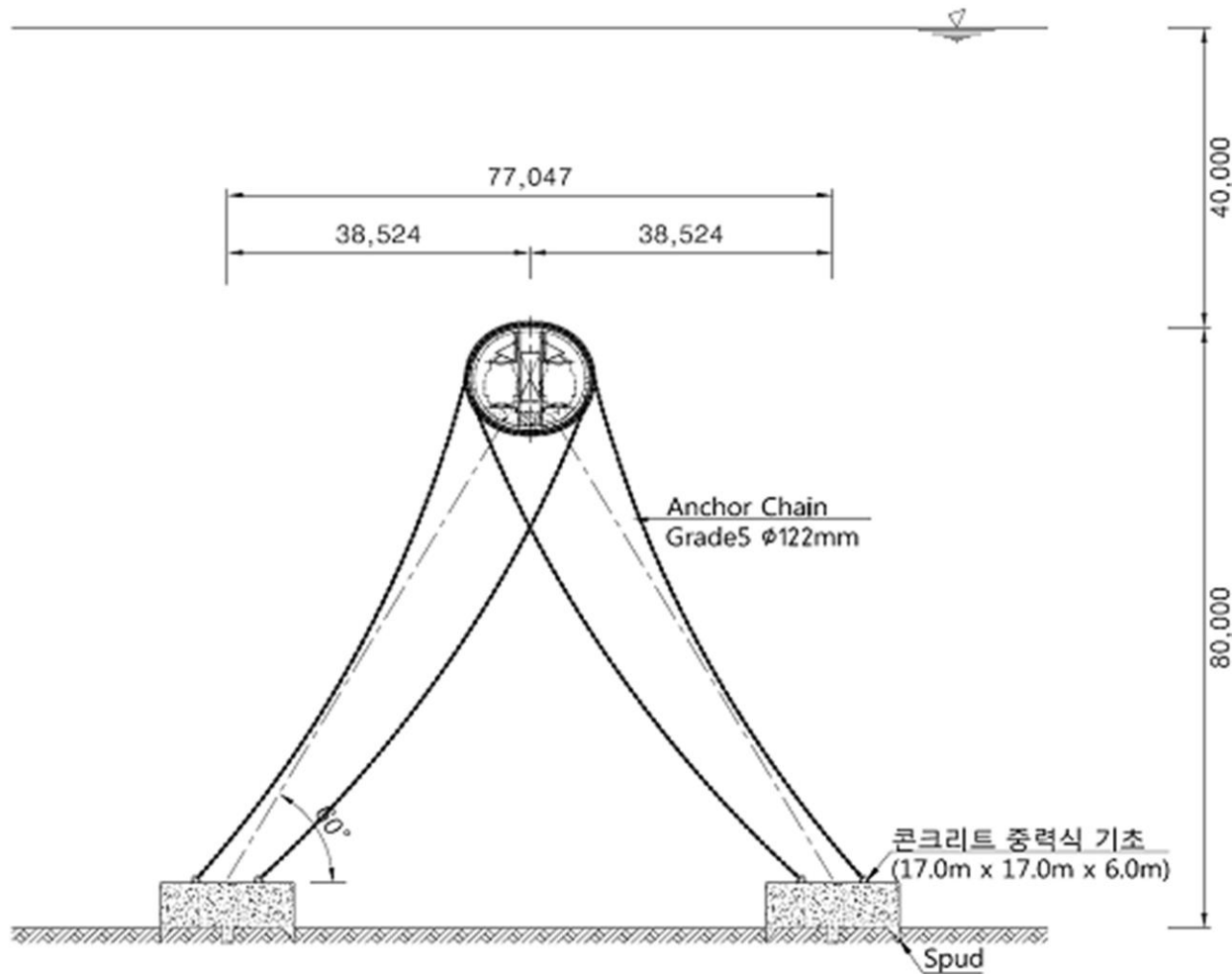


※ 한국해양플랜트연구소 수행



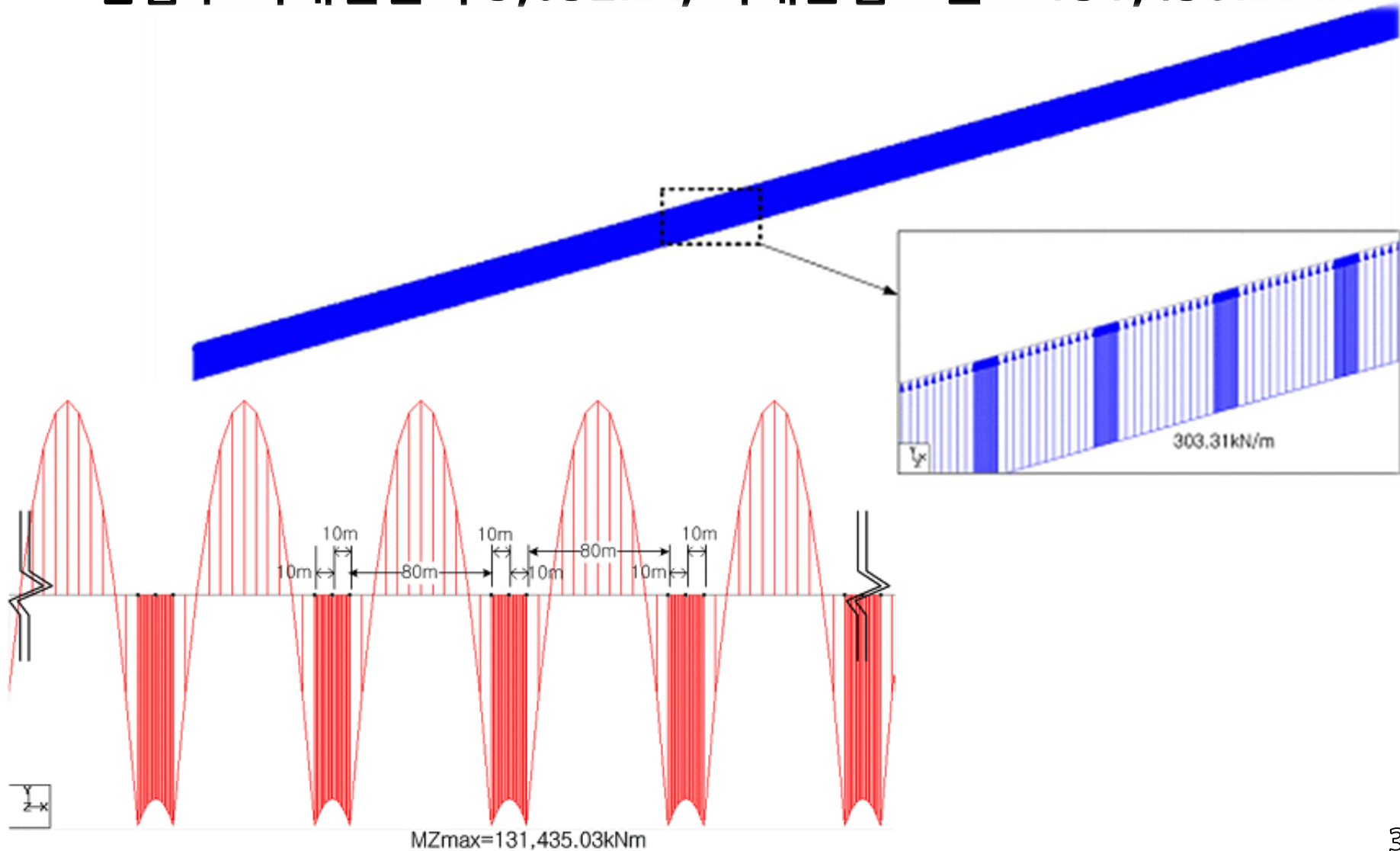
# 계류라인 정적 강도 해석

- 잉여부력과 해류에 의한 항력 고려
- 100m 구간의 계류라인 1개의 장력 4,582kN



# 함체 종강도 해석

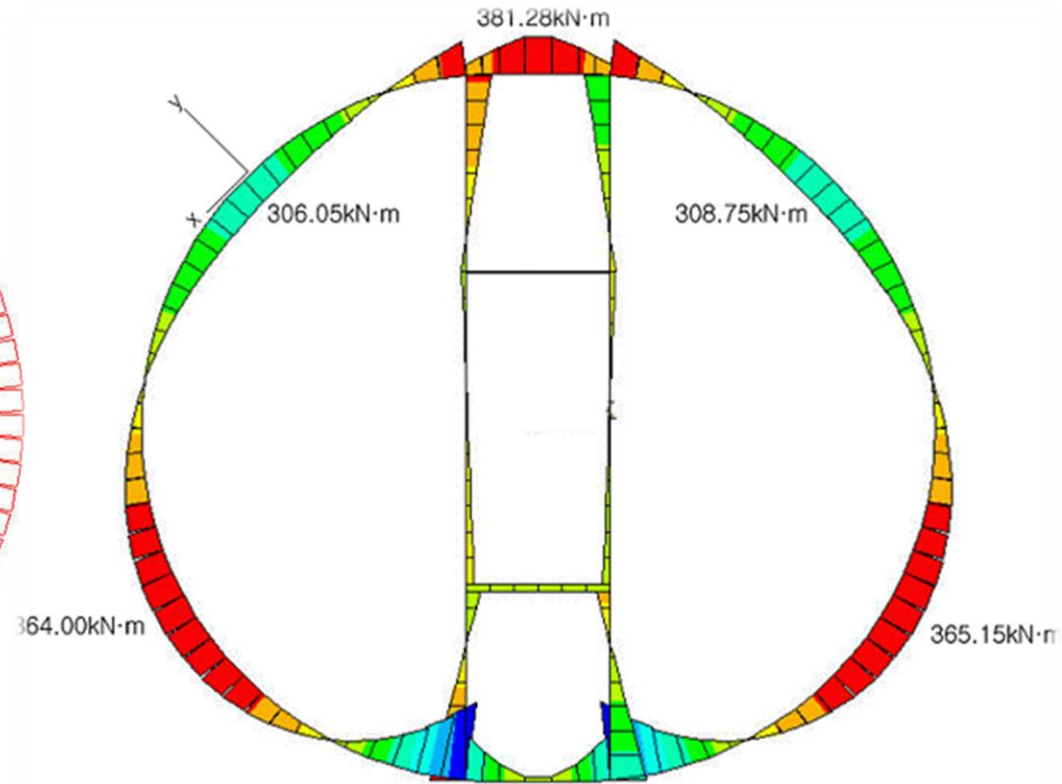
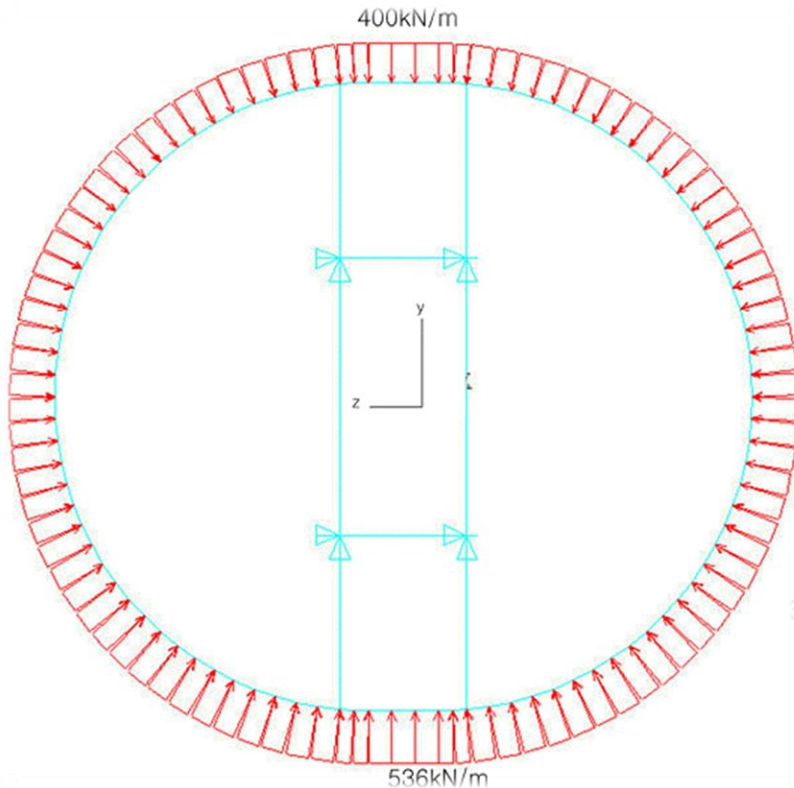
- **접합부 최대전단력 3,032kN, 최대굽힘모멘트 131,435kN-m**





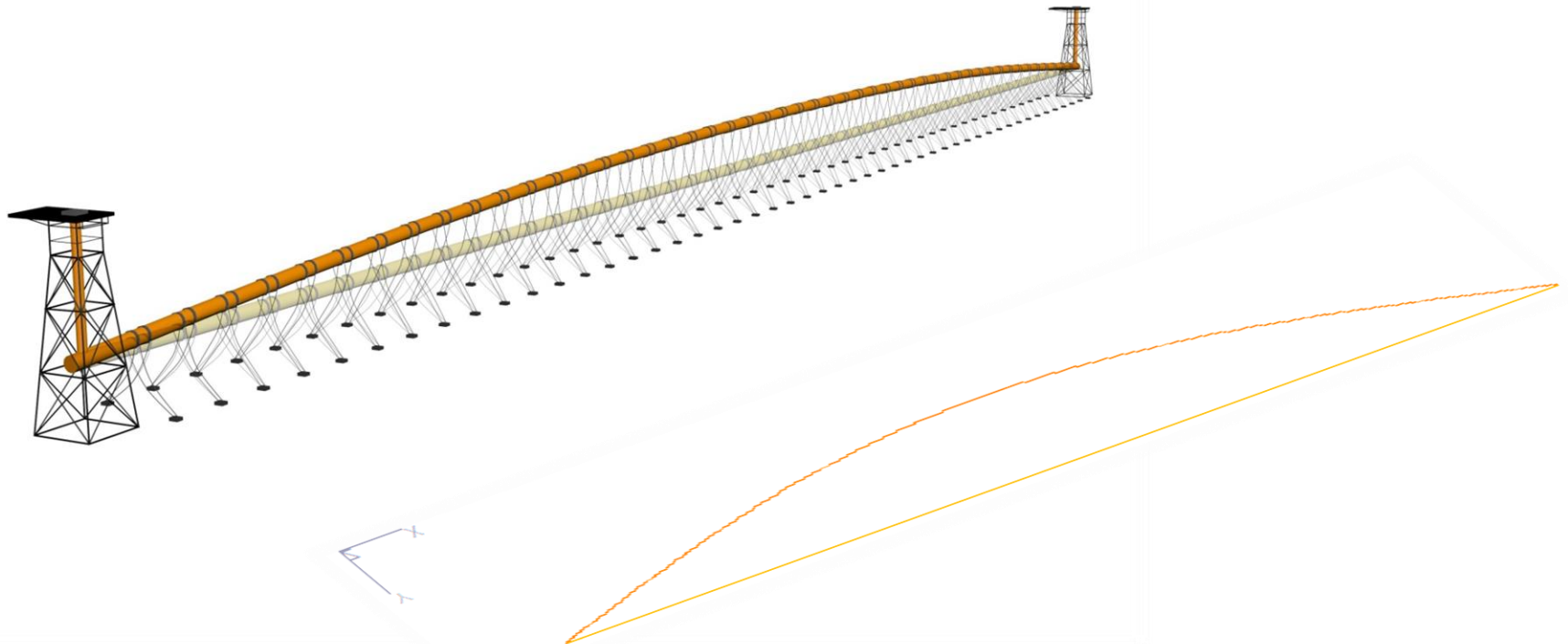
# 함체 횡강도 해석

- 종강도 및 횡강도 계산에 따른 최대 조합응력은 147 MPa 로  
항복응력 245 MPa 이하



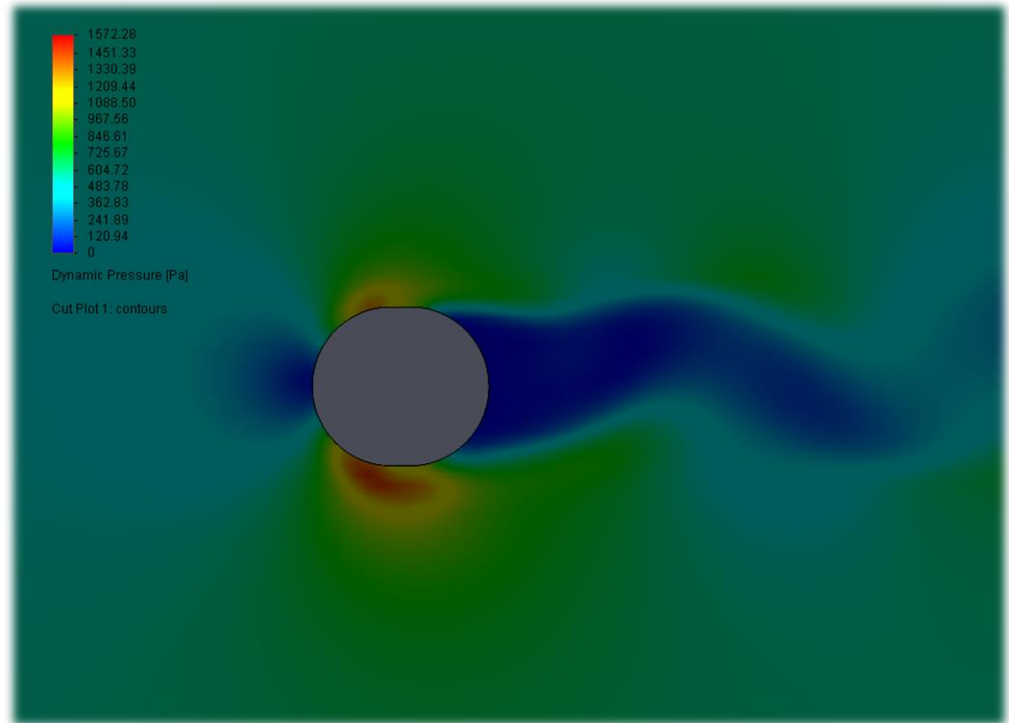
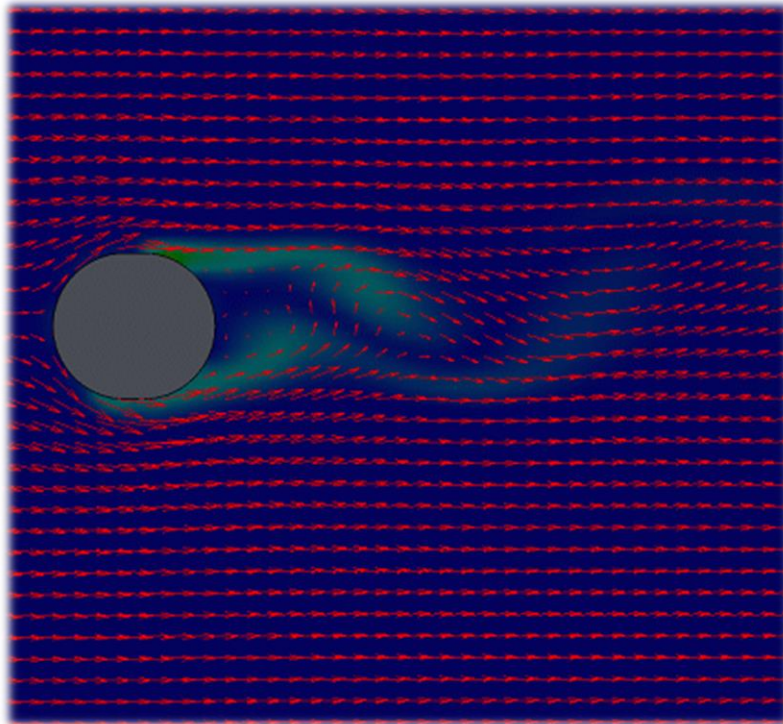
# 함체 고유 진동해석

- 고정구조물 사이 함체와 계류라인을 보(beam)와 스프링으로 모델링
- 부가수 질량을 고려한 수직 진동모드 최저차 고유진동수  $0.524\text{Hz}$



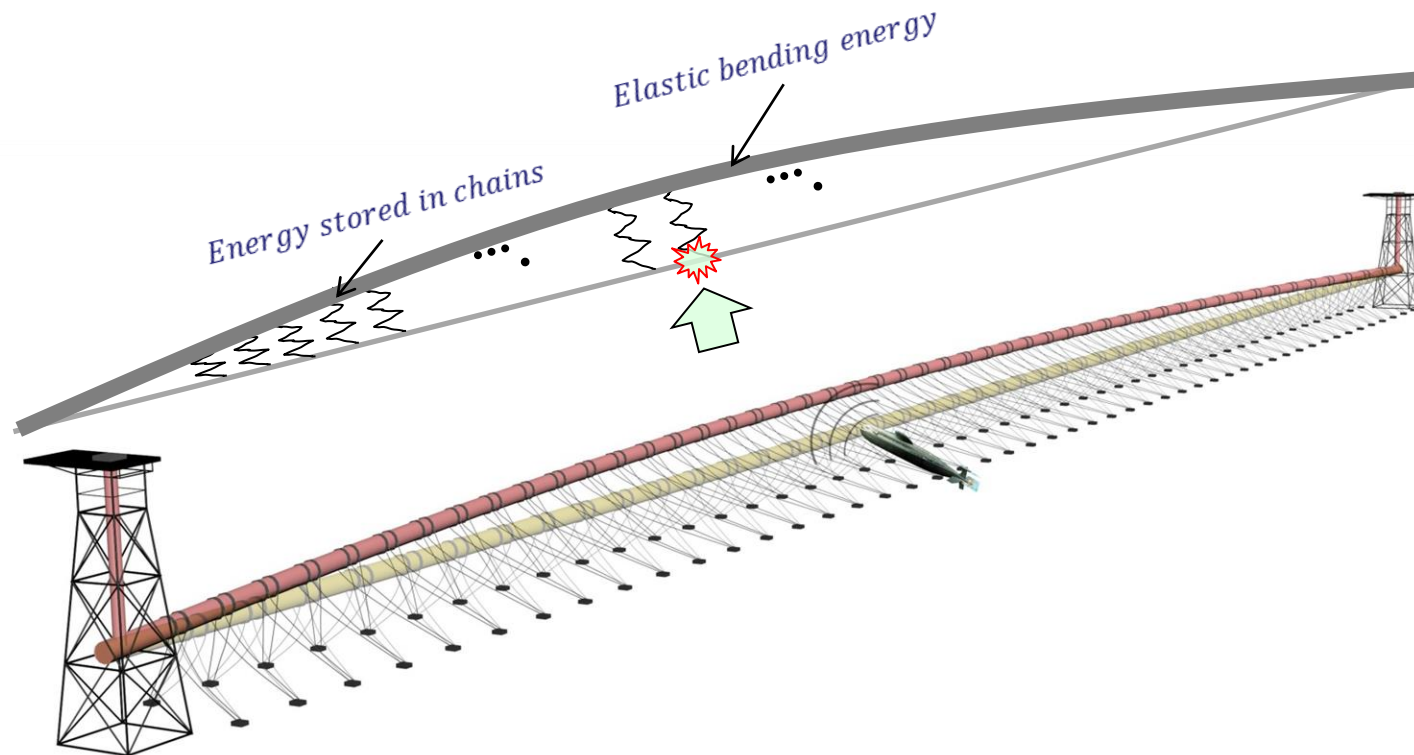
# 유동 해석

- 2차원 점성유동 해석 수행
- Strouhal Number 0.62  
와류 유기 진동수 0.023Hz
- ※ 구조물 고유진동수 0.524Hz 이하로 공진 회피



# 간이 충돌 해석

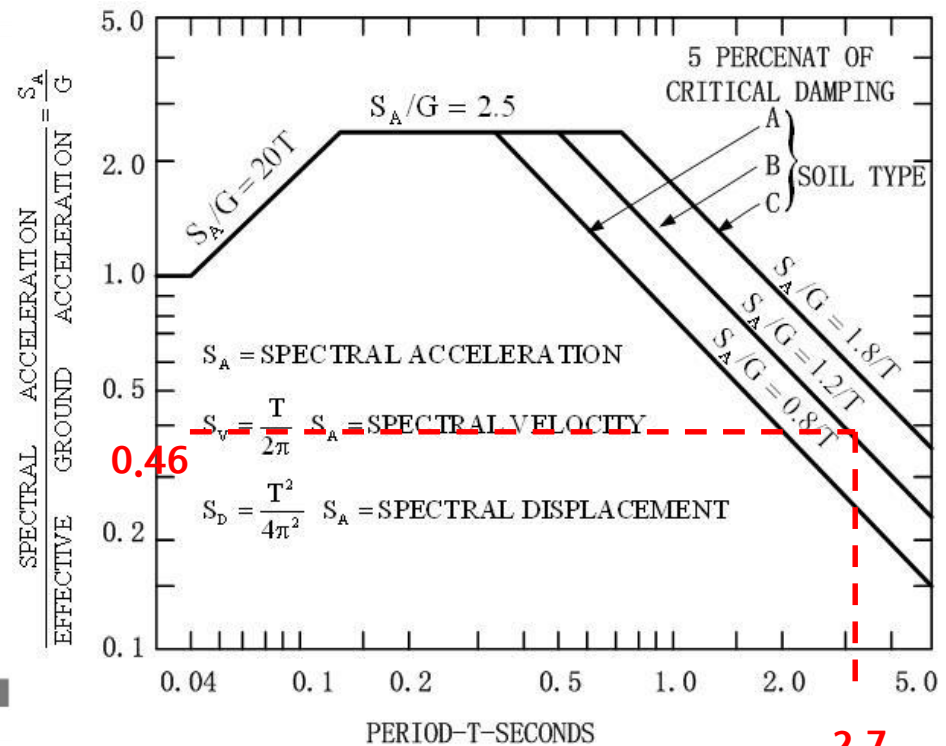
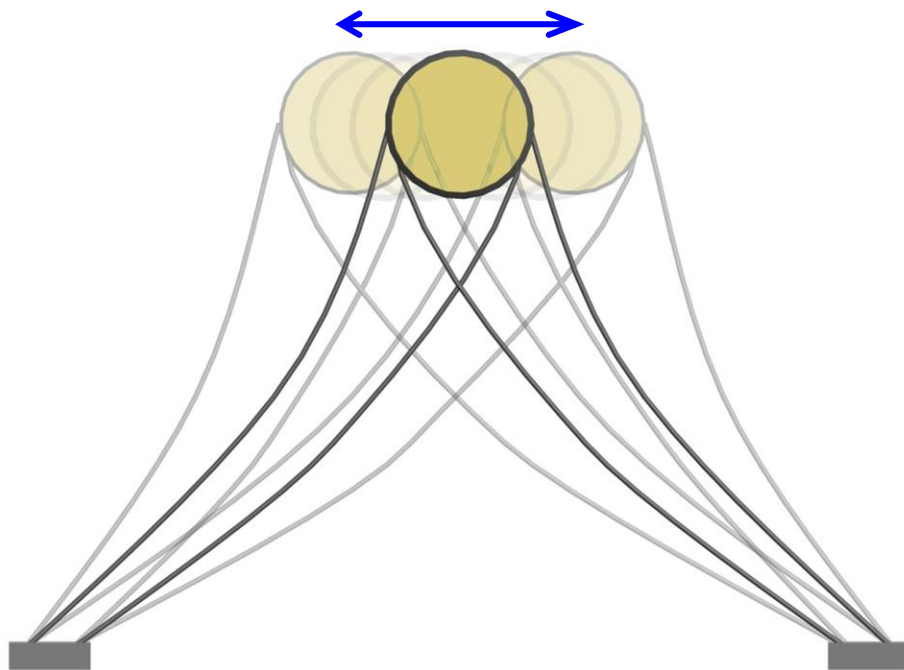
- 1800ton급 잠수함(손원일급) 2.5m/s(=5knots) 저속 충돌 가정
- 탄성지지된 무한보로 이상화
- 함체 최대변위 0.189m 발생, 최대응력은 93MPa 예상
- 체인 최대장력 9,131kN 으로 파단하중 16,303kN 이하





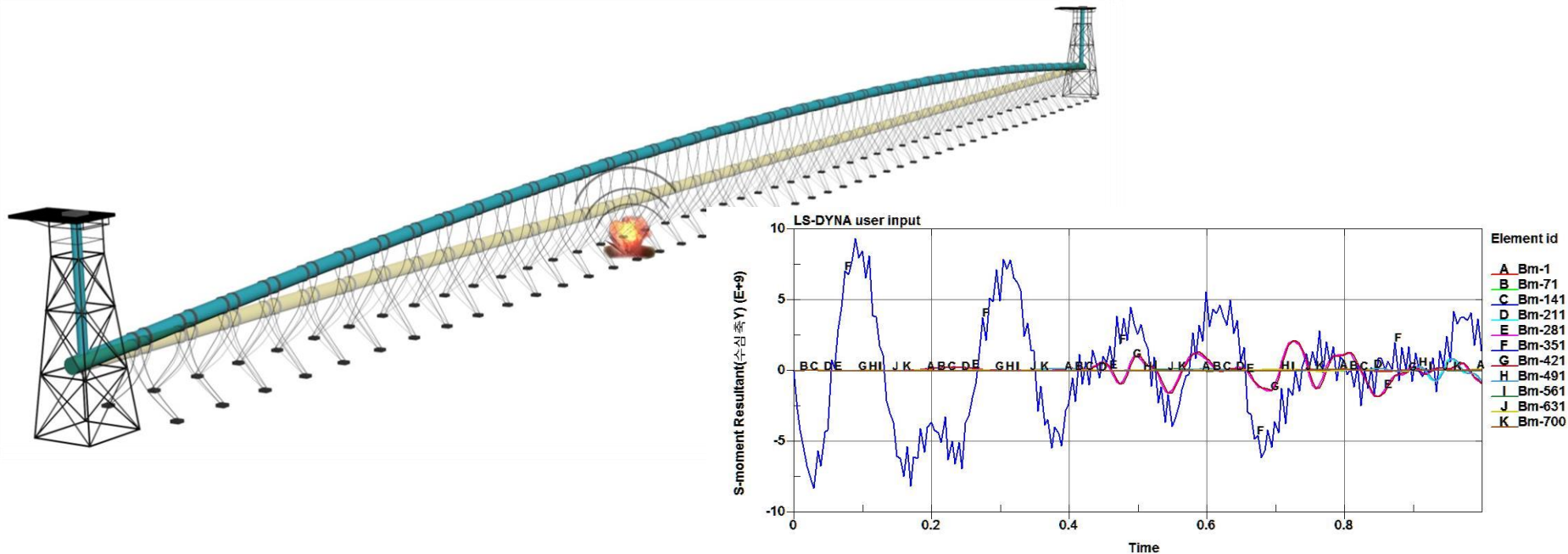
# 내진 해석

- 응답스펙트럼법에 의해 가속도 계산
- 수평방향 고유주기 2.7초이며, 스펙트럴 가속도 0.46g 예상
- 체인 부담 최대 장력은 7,228kN 로 파단하중 16,303kN 이하



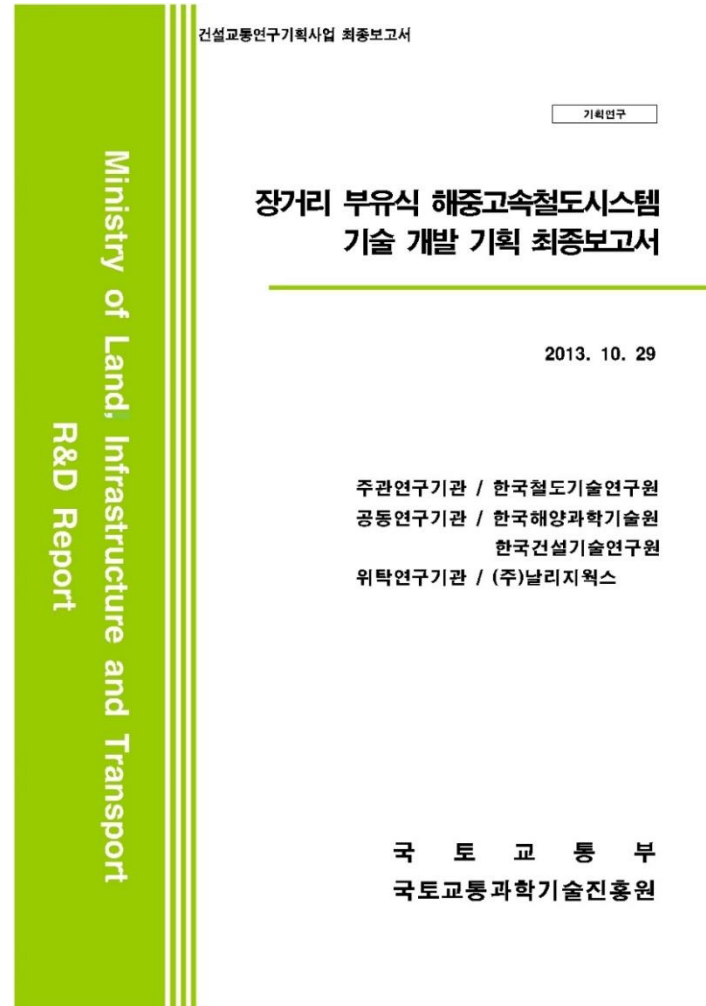
미국석유협회 해양구조물 강도 기준

충격강도	0.1	0.01	0.02	0.03
이격 거리(m)	10	20	20	20
TNT(kg)	4.88	0.20	0.78	1.76
Peak Pressure(kPa)	7,003	952	1,605	2,178
최대 굽힘모멘트(MN-m)	9,815	1,332	2,245	3,047
극한 저항모멘트(MN-m)	3,359			



# 해중고속철도 기술개발 기획

- 국가R&D 기획 (장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술개발 기획 연구, 2013)



# 최근 연구 성과



# 해중철도 기술 분류



대분류	중분류
해중 고속철도 시스템 엔지니어링 기술	요구조건 분석
	시스템 분석 및 조합
	RAMS 기술
	시험 평가 및 운영
해석 및 설계 기술	외력 및 거동평가 기술
	거동제어 기술
	설계 기술
시공 기술	구조체 시공 기술
	테더링 시공 기술
	지원시설 시공 기술
유지관리 기술	방재 안전기술
	건전성 평가 및 진단
	유지보수 기술
Test bed 구축	시제품제작
	시운전

# 주요사업(2014~2015) 내용

- 1차년도 해중철도 기본설계 결과의 보완
- 해중철도 축소 모형 시험 및 핵심 요소기술 개발

연구목표	연구내용
해중철도 기본설계 보완	<ul style="list-style-type: none"><li>- 모듈 연결부 설계</li><li>- 진출입 연결부 설계</li><li>- 계류장치 설계</li></ul>
축소 모형 시험	<ul style="list-style-type: none"><li>- 축소모형 유동시험</li><li>- 축소모형 진동대 내진시험</li></ul>
해중철도 핵심 요소기술 개발	<ul style="list-style-type: none"><li>- 충돌해석</li><li>- 부유식 구조체와 차량 상호작용 해석</li><li>- 안전 모니터링 기술</li></ul>

대륙 연결의 꿈을 실현하는 철도기술의 혁명

# 해중철도

감사합니다.

